



## CENTRE REGIONAL AGRHYMET



### DEPARTEMENT FORMATION ET RECHERCHE

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTERE EN GESTION CONCERTEE DES RESSOURCES NATURELLES Option : Agropastoralisme

Promotion : 2007

Présenté par : Mr SIDDO Seyni

**Gestion des ressources naturelles des aires protégées : utilisation des produits de la télédétection pour le suivi des surfaces brûlées et des domaines vitaux des buffles dans le parc régional du W**

Soutenu le xx Décembre 2007 devant le jury composé de :

**Président :** Dr ADOUM Alkhalil, Centre Régional AGRHYMET  
**Membres :** Dr MORANT Philippe, Centre Régional AGRHYMET  
Dr ATTA Sanoussi, Centre Régional AGRHYMET

**Maîtres de Mémoire :** Dr TREBOSEN Hervé, Centre Régional AGRHYMET  
Mr CORNELIS Daniel, Projet Mobilité/ECOPAS

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à adresser nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation. Il s'agit :

Dr TREBOSEN Hervé, pour avoir accepté superviser ce travail pour lequel il s'est investi personnellement pour donner vigueur et rigueur scientifique à cette étude.

Monsieur CORNELIS Daniel, pour avoir bien ciblé la problématique de cette étude, sa contribution dans la rédaction et aussi pour son soutien matériel.

Dr Moumouni OUEDRAGO, pour avoir apporté une contribution à ce travail

Monsieur DAN GOMMA Abdou, pour avoir guidé mes premiers pas dans la rédaction scientifique et apporté une contribution à cette étude.

Dr Atta Sanoussi, pour tous les efforts fournis pour le bon déroulement des cours théoriques et les stages de ce MASTERE et avoir corrigé une partie ce document

Monsieur Etienne SARR, pour tous les efforts fournis pour le bon déroulement des cours théoriques et les stages de ce MASTERE

Monsieur SAMNA Abdoukarim, pour la documentation et le soutien sur le terrain ; merci pour ton courage qui m'a permis d'être au contact des buffles au parc W et de découvrir les merveilles du parc W

Dr Job ANDIGUE et Monsieur Alfari Issoufou, pour les cours en SIG et télédétection

Messieurs Djibo Soumana, Mounkaila Abderamane, Ado Dan Karami, Alio Agoumo et M<sup>elle</sup> Aissata Saley, pour leur contribution spéciale en ce qui concerne la réalisation des cartes.

Monsieur YAHOUZA SALISSOU Secrétaire Exécutif de l'ONG Karkara qui m'a permis de suivre cette formation malgré mes obligations administratives vis-à-vis de son organisation.

Monsieur Moussa Garba, pour m'avoir guidé dans le bon chemin par ses conseils très utiles pour la rédaction

Mme SIDI, Responsable des Opérations techniques de l'ONG Karkara pour tous les efforts et assistance spéciale pendant la recherche des thèmes de stage

Oumourou Chaibou et Admou SIDDO, pour leur soutien financier pour l'achat d'un ordinateur portable

Messieurs Hamadou SEYBOU et Ali FARAOUA, pour les dépenses occasionnées pendant l'envoi de mon dossier au Centre Régional AGRHYMET

Le volet Mobilté/ECO.P.A.S., pour son appui matériel et financier tout au long de ce travail, et à travers lui les autorités de la Direction du Parc National du W du Niger et de tout son personnel sans exception aucune pour leur sollicitude à notre égard pendant notre séjour à la Tapoa.

Toute la promotion Mastère 2007, pour l'ambiance conviviale passée ensemble au cours de cette année de notre formation.

L'administration du CRA pour son dévouement à donner le meilleur d'elle même afin de nous assurer une formation de qualité

Toute ma famille, tous mes amis et tous ceux qui se reconnaissent à travers ce travail.

# Sommaire

<b>PARTIE 1. GENERALITES .....</b>	<b>4</b>
<b>1            LE PARC REGIONAL W.....</b>	<b>5</b>
1.1      SITUATION GEOGRAPHIQUE ET PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	5
1.2      LE CLIMAT .....	6
1.3      LES RESSOURCES EN EAU .....	7
1.4      LA VEGETATION .....	9
<b>2            LES FEUX DE BROUSSE .....</b>	<b>12</b>
2.1      LES FACTEURS DE PROPAGATION DES FEUX DE BROUSSE .....	12
2.2      LES BRULIS DANS LES AIRES PROTEGEES .....	14
2.3      OBJECTIFS ET TYPOLOGIE DES BRULIS D'AMENAGEMENT AU PARC REGIONAL DU W .....	15
<b>3            LE BUFFLE AFRICAIN.....</b>	<b>18</b>
3.1      REGIME ALIMENTAIRE.....	18
3.2      DOMAINE VITAL .....	19
3.3      DEPLACEMENTS .....	20
<b>4            LES TECHNIQUES SPATIALES AU SERVICE DES AIRES PROTEGEES .....</b>	<b>22</b>
4.1      APPORT DE LA TELEDETECTION A L'ETUDE DES SURFACES BRULEES.....	22
4.2      LE SUIVI TELEMETRIQUE DE LA GRANDE FAUNE .....	23
4.3      LES INDICES DE VEGETATION .....	24
<b>PARTIE 2. MATERIELS ET METHODE.....</b>	<b>26</b>
<b>1            SUIVI DES FEUX DE BROUSSE AU PARC REGIONAL DU W .....</b>	<b>27</b>
1.1      MATERIELS.....	27
1.2      METHODE .....	29
<b>2            INFLUENCE DU FEU PRECOCE SUR LES PATURAGES.....</b>	<b>30</b>
2.1      MATERIELS.....	30
2.2      METHODE .....	31
<b>3            INFLUENCE DES PATURAGES SUR LA DYNAMIQUE SPATIO- TEMPORELLE DES BUFFLES.....</b>	<b>35</b>
3.1      MATERIELS.....	35
3.2      METHODE .....	36
<b>PARTIE 3. RESULTATS ET ANALYSES .....</b>	<b>40</b>
<b>1            SUIVI DES SURFACES BRULEES AU PARC REGIONAL DU W.....</b>	<b>41</b>
1.1      FEUX PRECOCES : .....	41
1.2      FEUX TARDIFS : .....	42
<b>2            INFLUENCE DES FEUX PRECOCES SUR LES PATURAGES.....</b>	<b>46</b>
2.1      NDVI DES SITES DE BRULIS TRES PRECOCE ET NON BRULES .....	46
2.2      NDVI DES SITES NON BRULES ET BRULES PAR LES FEUX PRECOCES .....	47
<b>3            INFLUENCE DES PATURAGES SUR LA DISTRIBUTION SPATIO- TEMPORELLE DES BUFFLES AU PARC REGIONAL DU W .....</b>	<b>49</b>
3.1      DISTRIBUTION DES BUFFLES A L'ECHELLE DU PARC ET VARIATION DU NDVI.....	49
3.2      VARIATION DU NDVI DANS LES DOMAINES VITAUX.....	54
<b>PARTIE 4. DISCUSSIONS DES RESULTATS.....</b>	<b>57</b>

<b>1</b>	<b>SUIVI DES SURFACES BRULEES AU PARC REGIONAL DU W.....</b>	<b>58</b>
1.1	DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES FEUX.....	58
1.2	- FEUX ET AMENAGEMENT .....	58
1.3	PERSPECTIVES.....	59
<b>2</b>	<b>INFLUENCE DES FEUX PRECOCES SUR LES PATURAGES.....</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>DISTRIBUTION DES BUFFLES A L'ECHELLE DU PARC ET</b>	
	<b>VARIATION DU NDVI.....</b>	<b>62</b>
3.1	NDVI ET DYNAMIQUE DES DV.....	62
3.2	DV ET RESSOURCES EN EAU .....	63
	<b>PARTIE 5. CONCLUSION.....</b>	<b>65</b>
	<b>PARTIE 6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>69</b>
	<b>PARTIE 7. ANNEXES.....</b>	<b>75</b>

## Listes des tableaux

TABLEAU 1: SYSTEMES D'OBSERVATION TERRA-AQUA / MODIS .....	28
TABLEAU 2:IMAGES MODIS EXPLOITEES POUR LA CARTOGRAPHIE DES SURFACES AFFECTEES PAR LES FEUX DE LA SAISON SECHE 2006-2007 AU PRW .....	29
TABLEAU 3 : PARAMETRES DES PRODUITS NDVI SPOT-VGT .....	33
TABLEAU 4: KERNELS ET IMAGES MODIS .....	37

## Liste des figures

FIGURE 1: PARC REGIONAL DU W (BENIN, BURKINA FASO ET NIGER) .....	6
FIGURE 2: LES RESSOURCES EN EAU DU PRW .....	8
FIGURE 3:AIRE DE DISTRIBUTION (INSTITUTE OF.....	18
FIGURE 4:COLLIERS AJUSTABLES.....	24
FIGURE 5 : SURFACES BRULEES DE NOVEMBRE 2006 DU COMPLEXE WAP OBSERVEES AVEC LE CAPTEUR MODIS.....	28
FIGURE 6: ECHANTILLONNAGE DES SITES NON BRULES.....	32
FIGURE 7: PROCEDURE DU CALCUL DES COMPTES NUMERIQUES-NDVI DES SURFACES BRULEES.....	34
FIGURE 8: EXEMPLE DE DOMAINES VITAUX DES BUFFLES AU PARC REGIONAL DU W ESTIMES SOUS DE FORME KERNELS .....	37
FIGURE 9 : A, B, C, D ET E: DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES SURFACES BRULEES PAR FEUX PRECOCES AU PARC REGIONAL DU W .....	42
FIGURE 10 : A, B, C, D, E, F, G ET H : DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES SURFACES BRULEES PAR FEUX TARDIFS AU PARC REGIONAL DU W .....	44
FIGURE 11: EVOLUTION DU CUMUL DES SUPERFICIES BRULEES AU PARC REGIONAL DU W AU COURS DE LA CAMPAGNE DE FEU 2006-2007 .....	45
FIGURE 12: CARTE DE CUMUL DE FEUX 2006-2007 .....	45
FIGURE 13: EVOLUTION DU NDVI DES SITES DE BRULIS TRES PRECOCE ET SITES NON BRULIS.....	47
FIGURE 14: EVOLUTION DU NDVI DES SITES DE BRULIS PRECOCE ET SITES NON BRULIS .....	48
FIGURE 15: DISTRIBUTION SPATIALE DES BUFFLES ET NDVI DE LA 3E DECADE D'AVRIL 2003 AU PARC REGIONAL DU W .....	49
FIGURE 16:DISTRIBUTION SPATIALE DES BUFFLES ET NDVI DE LA 1E DECADE DE MARS 2007 AU PARC REGIONAL DU W .....	50
FIGURE 17 : A, B, C, D, E, F ET G: EVOLUTION DU NDVI ET DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES DOMAINES VITAUX DES BUFFLES AU PARC REGIONAL DU W .....	54
FIGURE 18:EVOLUTION DU NDVI DANS LES DOMAINES VITAUX POUR TOUS LES 16 JOURS .....	56

## Sigles et abréviations

(° )	degrés décimaux
<i>al.</i>	allié(s)
AP3A	Projet Alerte Précoce et Prévision des Productions Agricoles
AVHRR	Advanced Very Hight Resolution Radiometer (Radiomètre Supérieur à très Haute Résolution
BSQ	Band SeQencialtial Format
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
EMVT	Département Elevage et Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux
DMP	Dry mater Product
DV	Domaine Vital
ECOPAS	Ecosystèmes Protégés en Afrique Soudano-Sahélienne
ENVI	Environnement pour la Visualisation des Images
EOS	Earth Observing System
EVI	Enhanced Vegetation Index (indice de végétation amélioré)
GPS	Global Positioning System (Système de positionnement global)
ha	Hectare
HDF	Hierarchical Data Format
INRA	Institut de Recherche Agronomique (France)
JRC	Joint Research Center
km	Kilomètre
Km <sup>2</sup>	Kilomètre carré
LANDSAT	Lands Satellite (satellite d'observation de la surface terrestre
MERIS	Agence Spatiale Européenne
MODIS	Moderate Resolution Imaing Spectroradiometer (spectroradiomètre à résolution d'imagerie modérée)
MRT	MODIS Re-projection Tools
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National oceanic and atmospherical administration (administration nationale de l'océan et de l'atmosphère)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation index (indice de végétation Ajusté au Sol)
SIG	Systèmes d'Informations Géographiques
SPOTVEGETATION	satellite d'observation de la terre
UFR/SH	Unité de Formation et de Recherche /Sciences Humaines Département de Géographie
UHF	Ultra Hight frencency
UTM	Universal Transverse Mercator
VHF	Very Hight frencency
WAP	Parc W, réserve d'Arly et réserve de Pendjari
WGS	World Geodetic System

## Résumé

L'utilisation des produits de la télédétection pour la gestion des ressources naturelles des aires protégées a fait l'objet de cette étude. En effet, le suivi des surfaces parcourues par le feu, l'estimation des repousses après le passage des feux de brousse et l'influence des pâturages sur la dynamique des domaines vitaux des buffles n'est pas habituellement effectué au parc régional du W (Burkina Faso, Bénin, Niger).

Les domaines vitaux des buffles issus des comptages sur le terrain, les surfaces brûlées et les indices de végétation issus de la télédétection (ici NDVI) ont été les paramètres utilisés pour cette étude. La méthodologie a consisté dans un 1<sup>er</sup> temps à faire la typologie des feux et à étudier l'impact du feu sur les pâturages à travers l'analyse du comportement du NDVI sous forme de série temporelle, ensuite l'influence du NDVI sur la dynamique spatio-temporelle des buffles à travers le déplacement de leurs domaines vitaux.

Le suivi de la campagne de feux 2006-2007 montre que 85% de la superficie du parc régional du W a brûlé dont 73% par les feux précoces en 2 mois et 12% par les feux tardifs en trois mois. Ce type de brûlis ne semble pas tenir compte d'un schéma d'aménagement. L'évolution du NDVI post-feu montre aussi que le brûlis précoce est un appui à la gestion des soudures des aires protégées.

L'analyse spatio-temporelle de la dynamique des domaines vitaux a permis de démontrer l'influence de la variation du NDVI sur le mouvement des buffles au parc régional du W. La télédétection représente un précieux outil dans l'étude des ressources des écosystèmes des aires protégées.

Ces résultats serviront à approfondir la réflexion sur la mise en place d'une stratégie de gestion des ressources des écosystèmes du parc régional du W.

**Mots clés :** surfaces brûlées, domaines vitaux, buffles, télédétection, écosystèmes, gestion, ressources naturelles, aires protégées, parc régional du W, Burkina Faso, Bénin, Niger.

## Abstract

The objective of this study was the use of products from remote sensing monitoring for a of burnt surfaces and the dynamics of buffalos in the ecosystems in the regional park W (Burkina Faso, Bénin, Niger).

The context of this study is to monitor the areas burnt by fire, estimation of the regrowths after bush fires and the influence of pastures on the dynamics of the vital habitats of buffalos that are usually not at the regional park w.

The methodology consisted of the classification of fires and impact assessment of fires on pastures using NDVI behavioural analysis on temporal series, and then the influence of NDVI on the dynamics of buffalos on the movement of their vital domain.

The fire monitoring of 2006-2007 revealed that 85% of the regional Park W was burnt with 73% being early fires in two months and 12% by late fires in 3 months. These types of burnings are not inline with controlled burning. The post fire evolution of the NDVI also showed that early burning is a support in the management of protected area.

The spatio temporal analysis of the vital domains only showed the NDVI variations on the buffalo movement in the regional Park W.

The remote sensing was an important tool in studying the areas burnt and the vegetation. Our results would be use to search for appropriate solutions in the management of the regional park w

**Key words:** Burnt areas, vital domains, buffalo, remote sensing, natural resources, management, protected areas, ecosystem, regional park W, Burkina Faso, Bénin Niger



## Introduction

Il est communément admis que les domaines vitaux des populations animales présentent à la fois des variations temporelles et spatiales. Effet, leur distribution est fonction du milieu et du comportement des espèces animales. La répartition spatiale est un impératif de survie pour les espèces animales des savanes africaines où les écosystèmes sont soumis à de fortes variations climatiques saisonnières. Ainsi, trois paramètres explicatifs conditionnent leurs déplacements : le climat, les ressources alimentaires et l'habitat de reproduction.

Le fait que très peu d'informations existent sur l'écologie du milieu et des espèces animales et végétales constitue souvent un point d'inquiétude pour les gestionnaires du parc régional du W (PRW) (Eva et *al.*, 2003). Cela a un impact significatif souvent négatif sur l'ordonnancement et l'exécution des stratégies de gestion des aires protégées. En plus, le parc régional du W (Burkina Faso, Bénin, Niger) abrite des ressources naturelles convoitées par les communautés périphériques qui en font un usage illégal et incontrôlé (Zouri, 2003). Ce qui justifie l'intérêt croissant des Communautés internationale et nationale pour protéger ces écosystèmes dans le but d'améliorer leur gestion et de leur permettre d'assurer pleinement ses fonctions de conservation.

En effet, depuis 2002, le parc régional du W bénéficie d'un financement de l'Union Européenne (UE) à travers le programme ECOPAS (Ecosystèmes protégés en Afrique Soudano-Sahélienne). L'objectif général du Programme est « d'arrêter et d'inverser le processus de dégradation des ressources naturelles du parc afin de protéger de façon durable la biodiversité, au bénéfice des populations concernées » ([www.multimap-parc.org/map.swf](http://www.multimap-parc.org/map.swf)). Il voudrait également apporter une meilleure compréhension globale aux déterminismes et aux fonctionnements des écosystèmes du complexe WAP (parc W, parc d'Arly et parc de Pendjari) dans un contexte bioclimatique et socioéconomique.

En 2001, l'atelier de programmation scientifique du Programme ECOPAS opérant a retenu comme axe stratégique prioritaire une meilleure connaissance des dynamiques écologiques du Parc Régional W. Depuis, plusieurs études (Rabeil, 2003 ; Mike, 2003, Zouri, 2003 ; Gregoire et Simoneti, 2007 ;.....) portant sur la dynamique des populations de grands mammifères, les feux de brousse, la

transhumance,.....etc ont été mises en œuvre. Dans le but de consolider ces acquis, des financements complémentaires à ceux du programme ECOPAS ont été recherchés par le CIRAD. Les démarches entreprises ont abouti en janvier 2006 à l'attribution d'un appui financier de l'Agence Nationale pour la Recherche (France) pour un projet coordonné par le CIRAD intitulé « *Hétérogénéité spatiale et mobilité de la grande faune* », mis en œuvre en partenariat avec l'INRA (Toulouse) et le CNRS (Lyon et Montpellier).

D'une durée de trois ans, ce projet a pour but d'identifier et d'évaluer les variables explicatives de la mobilité et de la distribution spatiale de la grande faune dans un environnement hétérogène, en prenant comme modèle principal le buffle (*Syncerus caffer brachyceros*). Ce projet a pour finalité de mieux comprendre ses exigences en termes d'habitat, ses stratégies de déplacement et d'occupation de l'espace, et enfin d'intégrer ces informations dans les orientations de gestion de l'aire protégée, et sa valorisation touristique. Il s'agit ainsi d'identifier et d'évaluer les variables explicatives de la mobilité et de la distribution spatiale de la grande faune du parc régional du W (PRW) dans le but d'aboutir à la compréhension et à la prédictibilité de leurs besoins en habitat.

Les objectifs de cette étude s'intègrent à ceux du projet Mobilité en particulier et ceux ECOPAS en général. En effet, le programme ECOPAS cherche à savoir comment améliorer les ressources en eau et pâturage du Parc pour augmenter la charge en faune et donc le potentiel touristique, et la viabilité et la conservation de l'écosystème. Ainsi, Au cours du travail présenté ici, nous avons cherché à répondre à deux questions :

1. Comment les feux influencent les pâturages ?
2. Comment les pâturages influencent la distribution des buffles ?

Pour parvenir à l'amélioration souhaitée, il convient de s'interroger sur la méthodologie. Ainsi, quelles méthodes faut-il utiliser pour aborder l'hétérogénéité spatiale à différentes échelles, au travers de la configuration spatiale et temporelle de variables de l'environnement et des relations inter et intra spécifiques, qui affectent la qualité des milieux et les stratégies de déplacement de la faune. Aujourd'hui, les produits de la télédétection apparaissent comme un outil précieux et peu onéreux d'observation des écosystèmes terrestres. Ils peuvent ainsi être utilisés, dans le cas du parc régional du W (PRW), pour tester les méthodes de suivi des feux

de végétation et la dynamique spatio-temporelle de la grande faune en fonction des ressources fourragères. Cette présente étude s'inscrit dans ce cadre.

L'objectif principal de cette étude est d'exploiter les produits de la télédétection pour l'appui à la gestion des écosystèmes du PRW. Les objectifs de cette étude visent à valider les hypothèses et questions qui portent principalement sur la relation entre indice de végétation et occupation spatiale des troupeaux de buffles au parc régional du W.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

1. caractériser la dynamique spatio-temporelle des surfaces brûlées au parc régional du W au cours de la campagne de feu 2006-2007,
2. évaluer l'effet des feux précoces sur l'évolution du NDVI,
3. étudier l'impact de l'évolution du NDVI sur la distribution spatio-temporelle des troupeaux de buffles.

La présente contribution est structurée en quatre grandes parties. La première partie présente succinctement le contexte de l'étude. La deuxième partie, relative à la méthodologie, décrit les matériels ainsi que leur application à travers différente méthode. La troisième partie et la quatrième présentent respectivement les résultats obtenus et leur discussion.

# **PARTIE 1. GENERALITES**

# **1 Le Parc Régional W**

## **1.1 Situation géographique et présentation de la zone d'étude**

Situé entre 11°20' et 12°30' de latitude nord et 2° et 3°20' de longitude est, le PRW s'étend sur le Bénin, le Burkina Faso et le Niger avec une superficie de 1 023 000 ha (figure 1). Le parc régional du W est ainsi la plus grande et la plus riche zone protégée de l'Afrique de l'Ouest. Elle est classée au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1994 et recèle quelques espèces rares comme le guépard, le lamantin, ...etc. Au-delà de la simple protection de ce patrimoine naturel, des stratégies de valorisation de cette ressource sont recherchées ([www.parc-w.org](http://www.parc-w.org)). Malgré l'interdiction de la pratique de l'élevage sur l'ensemble de cette zone protégée, on constate une pression anthropique sans cesse croissante sur les potentiels floristiques et faunistiques de cette région. Mais les fonctionnalités de l'écosystème sont encore bien préservées et ne présentent pas d'atteintes irréversibles (Schöneegg et Martel, 2006)

Au cours des quinze dernières années, le parc régional du W a acquis une stature internationale du fait, notamment, de sa diversité biologique, de la multitude de ses zones humides et de sa diversité culturelle qui lui ont valu son inscription, en partie ou en totalité, sur la liste des sites Ramsar, du réseau MAB (Man and Biosphère). C'est aujourd'hui le plus grand parc transfrontalier classé comme Réserve de Biosphère au monde ([www.parc-w.org](http://www.parc-w.org)).

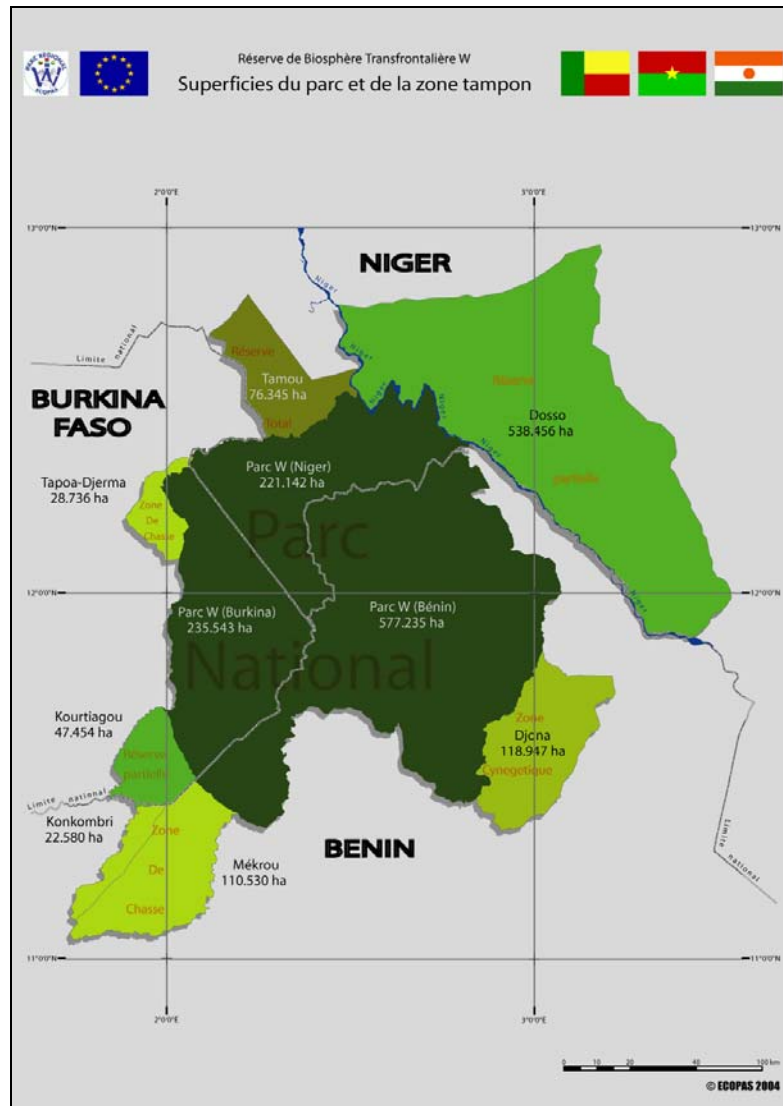


Figure 1: Parc Régional du W (Bénin, Burkina Faso et Niger)

## 1.2 Le climat

Par son extension entre le Bénin, le Burkina Faso et le Niger, le parc régional du W (PRW) présente une gamme variée de climats à pluies de mousson estivales. Ainsi dans sa partie nigérienne, il a un climat de type soudano-sahélien. La saison des pluies s'étend de mai à septembre. La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 685 à 850 mm et se répartie sur 30 à 50 jours de pluies. Les températures moyennes du mois le plus froid (janvier) sont de 31,2°C pour les maxima et de 10,7 °C pour les minima. Les homologues du mois le plus chaud (mai) sont respectivement de 44°C et 26°C (Rabeil, 2003).

Quant à sa partie béninoise, elle a un climat de type sahélo-soudanien, avec une pluviosité qui décroît d'année en année et gravite autour 600 mm par an à Karimama, 700 et 900 mm à Banikoara (Kazim, 2003). Les périodes les plus chaudes de l'année se situent entre avril et mai avec une température journalière maximale de 38,6°C. Les mois les plus frais se situent entre décembre et janvier, période au cours de lequel souffle l'harmattan (Charles, 2002).

Enfin pour la partie nationale du Burkina Faso, le climat est essentiellement de type nord-soudanien se caractérisant par une saison pluvieuse très courte (4-5 mois) et une longue saison sèche. La saison pluvieuse s'étale de mi-mai à fin septembre au Sud et de début juin à mi-septembre au Nord. Cette particularité climatique est due au déplacement du front intertropical qui détermine le début et la fin de la saison pluvieuse dans la région (Lompo, 2005). La moyenne pluviométrique annuelle oscille entre 750 mm et 950 mm, tandis que les températures moyennes annuelles se situent entre 26°C et 29°C. La période froide de l'année correspond aux mois de décembre et janvier et les moments les plus chauds correspondent aux mois d'avril et mai (Lompo, 2005).

Deux types de vents régulent l'activité climatique de la zone, il s'agit de l'harmattan qui est d'origine désertique soufflant de décembre à mars et la mousson d'avril à octobre (Doussa, 2004).

### **1.3 Les ressources en eau**

Le réseau hydrographique du PRW est composé des cours d'eau, mares temporaires, semi permanentes et mares permanentes (figure 2). Il est constitué principalement du fleuve Niger et de ses affluents : Mékrou, Tapoa, Alobori, kompa - gorou,..... Hormis le fleuve Niger, tout le réseau hydrographique n'a qu'une activité saisonnière. Les ressources en eau sont essentielles à la survie de la faune du PRW et constitue des lieux d'abreuvement du cheptel local et transhumant (ECOPAS, 2002a). Une des caractéristiques du réseau hydrographique est la présence de gorges, véritables incisions dans les barres de grès, au niveau des rivières de la Tapoa et de la Mékrou (ECOPAS, 2002b).

Concernant les mares, l'administration du PRW estime qu'il y'a 32 mares permanentes ou semi permanentes (ECOPAS, 2003). Mais ce chiffre doit être interprété à sa juste valeur, car les missions d'expertise de l'ECOPAS ont observé que pour l'année 2003, 41 % des points d'eau étaient à sec à la fin du mois de mars, contre 46 % pour l'année 2002 (ECOPAS, 2003).

On notera des aménagements (surcreusement des mares et forage avec pompe électrique alimentée par du solaire) récents sur les points d'eau secondaires.

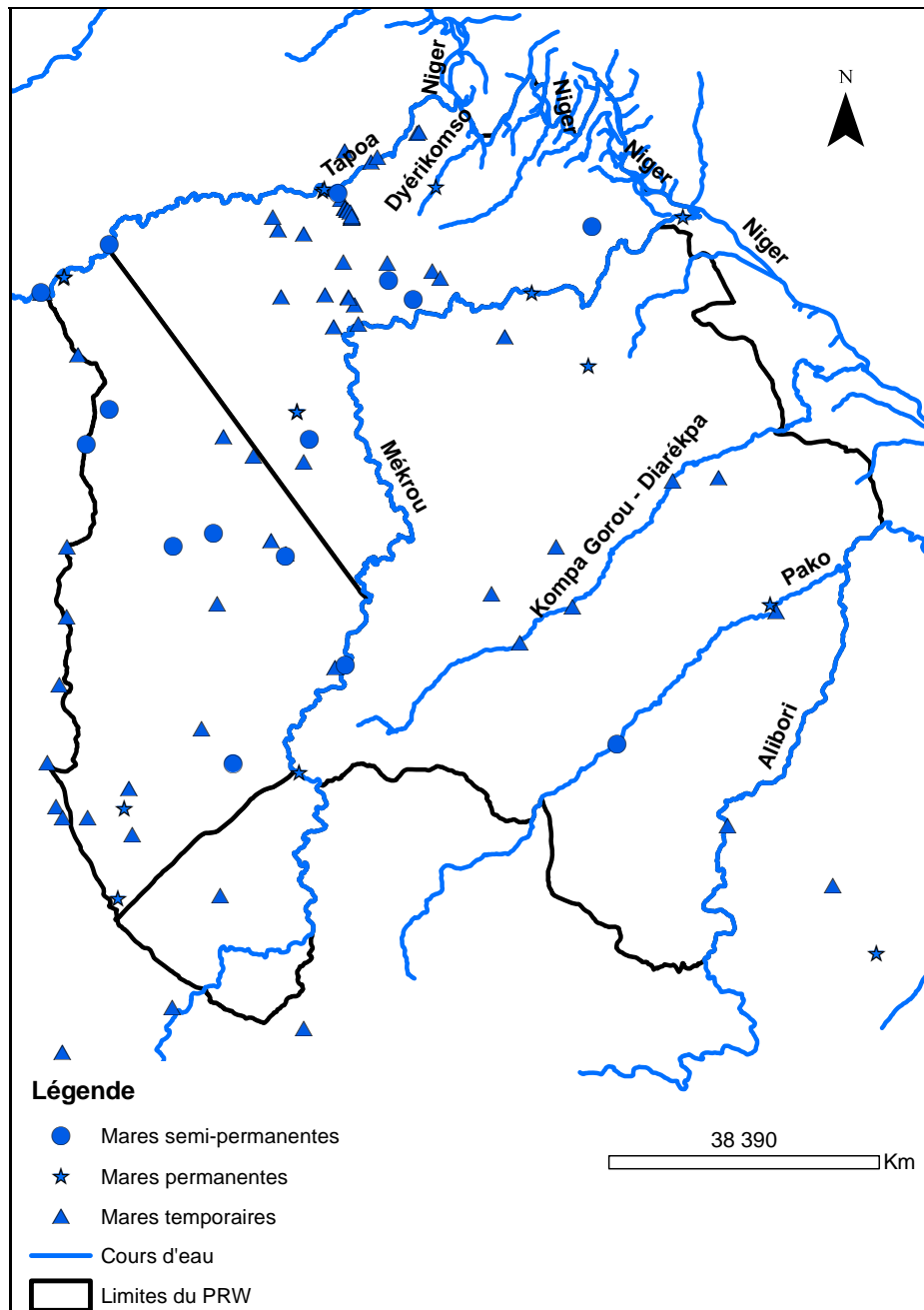


Figure 2: Les ressources en eau du PRW



## 1.4 La végétation

Les paysages du PRW sont très diversifiés. Les écosystèmes établis dans le parc présentent une grande diversité et sont représentatifs du biome soudano-sahélien. Ils s'organisent autour d'éléments aquatiques (fleuve, rivières, mares) et d'éléments terrestres. La répartition spatiale de ces formations est dictée aussi bien par les grands ensembles géomorphologiques et pédologiques que par des facteurs climatiques.

La végétation du PRW a fait l'objet de plusieurs études. Pour décrire l'essentiel des paysages, nous allons procéder à une synthèse des études faites par ces auteurs (Rabeil, 2003 ; Zouri, 2003, Hamadé, 2004, Lamarque, 2004 et Lompo, 2005).

### 1.4.1 Les forêts galeries

Ces formations bordent les cours d'eau principaux et secondaires et sont disposées de part et d'autre des rives en bandes étroites n'excédant que rarement 100 mètres de large. Il s'agit d'une formation végétale où les grands arbres dominent. La composition floristique de ces forêts galeries est variable selon les conditions édaphiques et notamment l'humidité du sol. Ainsi on distingue 3 types de forêts galeries:

- Galeries forestières a feuillage caduc : se situent essentiellement en bordure des petits cours d'eau saisonniers et les essences arborées qui les caractérisent sont *Anogeissus leiocarpus*, *Tamarindus indica*, *Daniellia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, *Pterocarpus erinaceus*, *Acacia erythrocalyx* et *Combretum micranthum*. Le tapis herbacé est relativement important et se compose des espèces suivantes : *Hyparrhenia involucrata*, *Andropogon pseudapricus*, *Pennisetum pedicellatum*, *Heliotropium indicum* et *Alysicarpus ovalifolius*.
- Galeries forestières semi-sempervirentes : assurent la transition entre les thalwegs humides et les sols plus secs des plateaux et sont peu denses en saison sèche. Ces formations se trouvent surtout le long des cours d'eau et se composent de *Mytragina inermis*, *Cola laurifolia*, *Kigelia africana*, *Acacia ataxacantha*, *Vitex madiensis*, *Mimosa pigra*, *Diospyros mespiliformis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum paniculatum*, etc. Pour les espèces herbacées, dans le lit asséché ou sur les

bourrelets on retrouve *Vetiveria nigrifolia*, mais aussi *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon gayanus*, *Alysicarpus ovalifolius*, etc.

- Galeries forestières sempervirentes : sont établies sur les sols profonds dans les principaux thalwegs. Cette formation a quasiment la même physionomie que la précédente, sauf qu'elle est localement dense et qu'elle est caractérisée par des espèces plus "guinéennes". Les arbres peuvent atteindre 30 mètres de hauteur et constituent une futaie à frondaison jointive. Le sous-bois est relativement dense. Les essences principales arborées sont *Mytragina inermis*, *Cola laurifolia*, *Kigelia africana*, *Borassus aethiopium*, *Diospyros mespiliformis*, *Acacia ataxacantha*, *Cassia sieberiana*, *Cissus quadrangularis*, *Ficus platyphylla*, *Phyllanthus reticulatus*, *Zizyphus mucronata* et *Mimosa pigra* ; pour les herbacées : *Vetiveria nigrifolia*, *Urena lobata*, *Heliotropium indicum*, *Panicum laetum* et *Andropogon tectorium*.

#### 1.4.2 Les savanes arborées

Les savanes arborées sont des formations dans lesquelles arbres et arbustes sont disséminés dans le tapis graminéen. La composition des savanes arborées dépend du type de sol. Ainsi, on distingue :

- sur les sols gréseux, la savane arborée est peu dense et avec couvert arboré faible. Les grands arbres qui accompagnent *Terminalia* sp. sont *Anogeissus leiocarpus* ou *Isobertinia doka* et la strate buissonnante est composée de *Combretum collinum*, *Vitellaria paradoxa*, *Strophantus sarmentosus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum*, etc. La strate herbacée est relativement hétérogène et composée de *Setaria anceps*, *Andropogon gayanus*, *Sida alba*, *Pennisetum pedicellatum*, *Hyparrhenia involucrata*, etc.

- Sur sols tropicaux ferrugineux peu lessivés, la savane arborée se forme au niveau d'un raccordement sur la tête de talweg d'un axe de drainage. Sa répartition est régulière dans le parc régional du W, mais elle apparaît plus dense dans la partie méridionale. La savane arborée présente deux types de configurations floristiques. La première configuration est dominée par *Anogeissus* qui est associé à *Pterocarpus erinaceus*, *Mytragina inermis*, *Lannea acida*, *Tamarindus indica*, *Terminalia avicennioides*, mais aussi aux *Combretum* (*collinum*, *nigricans* et *acculeatum*), aux *Acacia* (*ataxacantha*, *macrostachya*) et aux *Piliostigma* (*reticulatum* et *thonningii*), etc.. La strate herbacée de cette configuration est composée de : *Borreria radiata*, *Pennisetum pedicellatum*, *Hyparrhenia involucrata*, *Aristida mutabilis*, *Andropogon*

*gayanus* et *pseudapricus*,... etc. Quant à la seconde configuration de la savane arborée, elle est dominée par *Isoberlinia doka* qui est accompagné principalement de *Prosopis africana*, *Parkia biglobosa*, *Sclerocarya birrea*, etc.

- sur sols sableux bien drainés (bord du Niger), la savane est marquée par la présence parfois dominante de *Balanites aegyptiaca* qui est accompagnée par les espèces suivantes : *Tamarindus indica*, *Borassus aethiopum*, *Albizia chevalieri*, *Celtis integrifolia*, *Diospyros mespiliformis*, *Boscia senegalensis*, *Acacia erythrocalyx* et *Acacia ataxacantha*. Concernant les herbacées, on trouve *Sida rhombifolia*, *Panicum fluviicola* et *Vigna ambacensis*.

#### 1.4.3 Les savanes arbustives

Il s'agit de formations basses où les ligneux ne dépassent pas 8 mètres de hauteur avec un tapis herbacé plus ou moins important dominé par les graminées. La composition floristique des savanes arbustives varie selon la nature du substrat. Ainsi, on distingue :

- Sur les bancs de grès, la savane arbustive claire avec une strate herbacée dominée par *Diheteropogon hagerupii*, *Tephrosia linearis*, *Sporobolus festivus*, *Borreria radiata*, *Loudetia togoensis*, ... etc. Les essences qui sont associées aux espèces dominantes sont *Guiera senegalensis*, *Terminalia avicennioides*, *Acacia macrostachya*, *Combretum nigricans*, etc.

- Sur cuirasse : il s'agit des savanes dominées par *Combretum nigricans* et *C. micranthum* pour les ligneux et *Microchloa indica* (espèce dominante), *Acacia erythrocalyx*, *Acacia macrostachya*, et *Monechma ciliatum*, *Cassia mimosoides*, *Alysicarpus ovalifolius* pour la strate herbacée.

- Sur glaciais érodé, la savane est très clairsemée avec beaucoup de zones de sols nus. La strate ligneuse composée de *Combretum micranthum* en pieds isolés, *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum collinum*, *C. nigricans*, *C. glutinosum*, *Boscia angustifolia*, *B. senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Acacia erythrocalyx*, *Diospyros mespiliformis*, *Pterocarpus erinaceus*, *Piliostigma reticulatum* et *Dichrostachys cinerea*. Pour la strate herbacée, on trouve *Andropogon pseudapricus*, *Hyparrhenia involucrata*, *Pennisetum pedicellatum*, *Borreria radiata*, ...etc.

#### 1.4.4 La savane herbeuse

Dans cette savane, il n'y a pratiquement ni arbre, ni arbuste, mais seulement un tapis graminéen. Les conditions édaphiques particulièrement pauvres rendent l'installation de ligneux difficile. Seuls quelques arbres arrivent à se maintenir et ce sont souvent des espèces colonisatrices dites résistantes sur les plaines d'inondation et les cuirasses à sols lithiques (bowé). Les prairies alluviales sont rares dans le W bien qu'on en rencontre quelques-unes en bordure de la Mékrou, de la Tapoa, le long du fleuve Niger et de Diarekpa. La végétation arborée est composée d'espèces telles que *Acacia sieberiana*, *Piliostigma reticulatum*, *Cissus quadrangularis*, *Maerua angolensis*. Quant aux savanes herbeuses des bowé, elles sont très facilement identifiables, car dominées par *Loudetia togoensis*, associés à *Microchloa indica* et *Tephrosia linearis* pour les herbacées. On retrouve également quelques individus de *Combretum glutinosum* et *Guiera senegalensis* pour la strate arbustive, disséminés parmi ces grandes étendues herbeuses.

## 2 Les feux de brousse

La protection absolue contre le feu est davantage un mythe qu'une alternative dans l'aménagement forestier en régions à saison sèche sévère. La protection intégrale entraîne l'accumulation des déchets ligneux et herbacés à toutes les strates végétales et les incendies accidentels qui s'en suivent, très violents, font perdre plus que le gain de quelques années de sursis.

### 2.1 Les facteurs de propagation des feux de brousse

#### 2.1.1 Les facteurs anthropiques

En Afrique, les causes des feux de brousse sont généralement d'origine anthropique. En effet, la faible mécanisation des outils de production primaire favorise une utilisation massive du feu. Le besoin croissant en terres disponibles pour la production agricole et surtout du coton amène les populations à défricher des nouveaux espaces à l'aide du feu. Les agriculteurs pratiquent le brûlis pour nettoyer leurs champs des résidus de récolte, ou tuer les souches pour maintenir leur terrain propre. De même, les pasteurs transhumants allument des feux en fin de saison

sèche pour accélérer la régénération du pâturage et faire profiter des repousses au bétail. Enfin, les récolteurs de gomme allument le feu en brousse pour stimuler la réaction du gommier (*Acacia senegal*) et la production de gomme (Valea, 2005b et Rabeil, 2003).

### 2.1.2 Les facteurs climatiques

Les paramètres météorologiques tels que les précipitations, la température, l'humidité de l'air, le vent et l'ensoleillement influent non seulement sur la teneur en eau des végétaux mais encore ils constituent les facteurs naturels de déclenchement des feux. Ils ont une action directe sur l'inflammabilité du combustible (Valea, 2005b). Parmi ces paramètres, les précipitations jouent un rôle prédominant pour la détermination de la teneur en eau des végétaux. Leur effet varie de façon significative en fonction de leur durée, de leur période, de leur quantité. Quant à la température de l'air, elle a peu d'influence sur la combustion.

En revanche, l'humidité de l'air est un facteur fondamental. L'air sec favorise le feu en augmentant le pouvoir d'inflammabilité du tapis végétal. La durée de l'insolation et l'intensité du rayonnement solaire favorisent le dessèchement et accélèrent ainsi la vitesse de propagation du feu. Le vent est aussi un facteur prépondérant et son rôle est déterminant pendant comme avant la mise à feu d'une matière végétale. Ainsi avant le feu, le vent sec accélère la déshydratation de la végétation et facilitera la combustion. Pendant le feu, il impose l'orientation et la vitesse de propagation du feu en favorisant le transport de particules incandescentes en avant du front de flammes (CIRAD, 1990). Les conditions climatiques constituent ainsi l'un des facteurs de distribution spatiale des feux car elles peuvent favoriser ou empêcher le développement de matériel combustible nécessaire au déclenchement d'un feu (Dolidon et Drezen, 2005).

### 2.1.3 La structure et la composition de la végétation

Les feux de brousses dépendent aussi de la continuité du tapis végétal. La régularité de répartition et la continuité du tapis herbacé favorise davantage la progression et la dimension d'un feu, surtout en saison sèche. D'une manière générale, plus il y a de combustibles (secs), plus le feu est important. On remarque parfois que trop de végétation peut au contraire « étouffer » le feu (Valea, 2005b).

Mais aussi, les espèces dominantes des formations végétales en raison de leur importance constitutive influent sur l'inflammabilité et la combustibilité des peuplements intrinsèques et interviennent comme facteurs naturels de propagation voire critères d'apparition d'un feu dans un espace végétal. (Mostefa et *al.*, 2003).

#### 2.1.4 La topographie du milieu

Trois paramètres topographiques interviennent comme facteurs déterminants pour la vitesse de propagation des feux de brousse :

- la pente modifie l'inclinaison relative du front des flammes par rapport au sol. Cela favorise le transfert thermique par rayonnement entre le front de flamme et la végétation encore intact, lors d'une propagation ascendante où la pente facilite la montée de l'air chaud. Ainsi, elle constitue un facteur déterminant pour la vitesse de propagation des feux de forêt sur les versants. Cependant, une forte pente pourra contribuer soit à accélérer soit à ralentir la propagation d'un feu selon que l'orientation coïncide ou non avec la direction de propagation.
- L'exposition au rayonnement solaire agit sur l'humidité des végétaux et leur inflammabilité et leur combustibilité d'une manière indirecte.
- L'altitude prend de l'importance quand on se trouve dans une zone montagneuse. L'extension du feu est fonction de sa position sur la montagne ou le versant et de la configuration topographique susceptible d'augmenter ou de freiner sa propagation (Mostefa et *al.*, 2003).

## **2.2 Les brûlis dans les aires protégées**

Il n'existe évidemment pas de recette toute faite en matière de brûlis mais leur mise en œuvre exige une bonne connaissance du milieu, au cas par cas. On peut cependant retenir qu'ils peuvent permettre d'atteindre une gamme d'objectifs diversifiés et souvent complémentaires en matière de gestion de la faune. Ainsi, le brûlis des pousses non mangées des saisons précédentes, qui constituent une biomasse morte asphyxiante, permet de stimuler la production fourragère. Les feux contrôlés permettent également de dégager la visibilité dans des zones vouées à l'exploitation touristique (tourisme de vision), à des activités de prélèvement (chasse

sportive,) ou de contrôle (contrôles sanitaires, lutte anti-braconnage) et ainsi d'améliorer le rendement de ces opérations (MacKinnon et *al.*, 1986).

En Afrique australe surtout, leur usage permet de contrôler à moyen terme l'envahissement des gagnages par des ligneux indésirables et assurer un ratio graminées/ligneux en équilibre avec le ratio paisseur/brouteur désiré, en fonction des objectifs de production recherchés. Dans ce cadre, précisons que les feux réduisent la taille des petits arbres et des arbustes, les mettant à portée des brouteurs (Bothma, 2002).

### **2.3 Objectifs et typologie des brûlis d'aménagement au Parc régional du W**

Les objectifs et la typologie des brûlis d'aménagement au parc régional du W décrits ci-dessus sont tirés du schéma général du parc (Lungren, 2003).

#### **2.3.1 Les brûlis très précoces**

Au Parc régional du W, la saison sèche s'amorce en fin septembre au terme des dernières pluies. A cette époque de l'année, le Parc est couvert d'une strate herbacée haute et dense, en fin de cycle végétatif. Les pistes touristiques sont détrempées et recouvertes d'un tapis herbacé qui peut attendre trois mètres de haut, empêchant toute activité touristique.

Les premiers brûlis sont pratiqués une fois les pistes ressuyées, dans le cadre des opérations de réouverture du Parc au public. Durant cette période qui débute aux environs de la mi-octobre et qui dure environ 4 à 6 semaines, le feu s'éteint généralement vers la tombée de la nuit. Cela permet de créer le long des pistes des bandes brûlées peu profondes servant de pare-feux naturels. Ceux-ci permettent d'isoler des blocs de végétation qui pourront faire ensuite – ou non - l'objet de brûlis au moment souhaité en fonction des objectifs recherchés.

### 2.3.2 Les brûlis précoces

Les premiers brûlis précoces sont allumés en mi-novembre quand le sol et les herbacées de la zone à brûler sont toujours suffisamment humides pour que la repousse s'effectue dans les 5 à 30 jours qui suivent. En fonction des conditions hygrométriques, ces feux peuvent se poursuivre jusqu'à fin décembre, voire début janvier.

Le feu n'atteint que les parties végétales mortes et épargne une partie des semis et des graines. La brièveté du passage du feu fait que la chaleur dégagée agresse peu les bourgeons de remplacement enfouis profondément dans les souches cespiteuses des graminées. On peut en dire autant pour le cambium caché sous l'écorce épaisse des espèces ligneuses pyrophiles et les ébauches foliaires et florales protégées par les écailles des bourgeons. Ce type de feu accélère enfin la chute des feuilles des ligneux qui ont terminé leur fonction et couvriront le sol pendant la fin de la saison sèche.

### 2.3.3 Les brûlis de pleine saison

Ce brûlis est effectué dans les parcelles isolées, après l'achèvement des brûlis précoces mais toujours pendant la période des vents d'harmattan, soit globalement de janvier à fin mars. À l'exception des prairies de bas-fonds ou des vallées humides, il n'est pas suivi de repousses des graminées. Il en est de même pour les ligneux sur la plupart des sols, qui ne bourgeonnent plus à cette époque.

### 2.3.4 Les brûlis tardifs

Le brûlis tardif est un feu ayant lieu en fin de saison sèche, c'est-à-dire en avril et mai. Violent, souvent renforcé par un vent soutenu, il consomme la quasi-totalité de la strate herbacée et atteint les ligneux plus ou moins gravement. Attaquant en profondeur les souches cespiteuses des graminées et des cypéracées, il peut tuer les bourgeons de remplacement cachés entre les bases persistantes des chaumes et des feuilles inférieures. Des dégâts sont également occasionnés aux espèces dont les bourgeons sont localisés près du sol, aux jeunes semis et aux rejets de souches.



Ce feu intervient normalement après l'arrêt du vent d'harmattan et avant que les pluies ne deviennent régulières. Généralement, il n'est pas suivi toute de suite de repousses des graminées ou de bourgeonnement des ligneux, et le stade végétatif normal du début de la saison pluvieuse sera considérablement retardé.

#### 2.3.5 Les brûlis de contre-saison

Brûlis qui intervient dans la période d'extrême limite de la mise à feu, après le démarrage de la nouvelle saison pluvieuse et la reprise des graminées. Une couche de litière est requise pour ce type de brûlis, et dans ce sens, il ne peut intervenir que dans une zone n'ayant pas été brûlée pendant au moins un an sinon plusieurs années. Toutefois, les conditions requises sont rarement réunies pour la pratique de brûlis de contre saison.

### 3 Le buffle africain

Le buffle africain appartient à la famille des bovidés (annexe 1). Il est le seul représentant du genre *Syncerus*. C'est un des ongulés les plus répandus au Sud du Sahara (figure 3).

Le buffle africain est l'un des mammifères africains les plus performants en termes de répartition géographique et d'abondance. On le trouve principalement dans les savanes à forte biomasse herbacée, mais également en forêt dense, en forêt de montagne, et dans les formations arbustives sèches (Sinclair 1977 ; Kingdon 1982 ; Estes 1991).

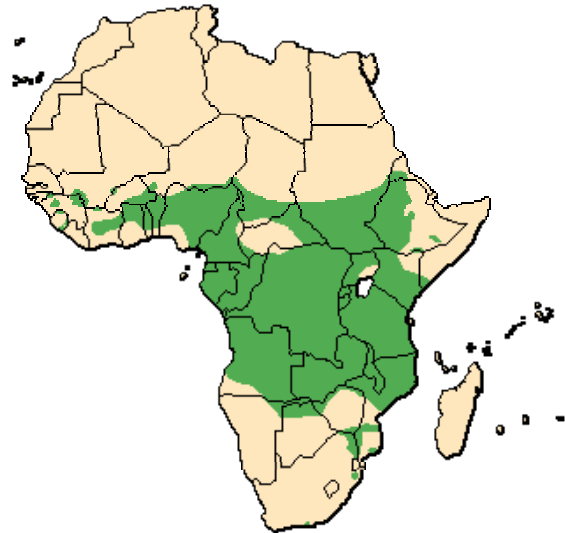


Figure 3:Aire de distribution (Institute of Applied Ecology, 1998)

Les buffles sont des animaux grégaires. Ils vivent en troupes mixtes d'environ 30 à 1000 têtes, comprenant des femelles, des jeunes et des mâles subadultes. Les mâles adultes forment des groupes de célibataires composés de deux à une trentaine d'individus, qui se déplacent entre troupes de femelles (Sinclair, 1977).

#### 3.1 Régime alimentaire

Le buffle est un ruminant. Paisseur (« *bulk grazer* »), il est capable de subsister sur des pâturages grossiers et trop grands pour la plupart des autres ruminants. Le buffle ingère quotidiennement l'équivalent de 2,2% de sa masse corporelle (Bothma, 2002).

Des expériences menées sur des animaux domestiqués ont mis en évidence que le buffle peut sélectionner certaines espèces d'herbes, et qu'il a une préférence pour la feuille. Les espèces et parties sélectionnées ont une haute teneur en protéines et

carbohydrates. En conditions réelles, la teneur minimale en protéines du fourrage qu'il sélectionne est d'au moins 5% (Sinclair, 1977).

Les modifications saisonnières du disponible alimentaires déterminent les mouvements des troupeaux au sein de leur domaine vital. Lorsque les pâturages deviennent secs, que les herbes deviennent moins appétibles et moins nutritives, les buffles descendent dans les pâturages des forêts galeries. Ce processus est accéléré par les feux de brousse (Sinclair, 1977)

La disponibilité en eau de surface est communément citée comme un critère crucial d'exploitation des pâturages pour le buffle en saison sèche, et de nombreuses études (MIKE, 2003 et Rabeil, 2003) indiquent que les troupeaux se cantonnent à proximité des points d'eau durant cette saison. En effet, le buffle devrait boire au moins tous les 48 heures (Prins, 1996), voire au moins une fois par 24 heures (Estes, 1991 ; Sinclair, 1977). En effet, la teneur en eau de ses aliments ne peut couvrir ses besoins en eau (Prins, 1996). Il boit 30 à 40 litres par jour (Lamarque, 2004).

Le buffle broute également dans une certaine mesure, à fortiori lorsque l'herbe se fait rare, ou est de mauvaise qualité. Selon Estes (1991), le brout peut représenter jusque 5% de son régime total.

### **3.2 Domaine vital**

La taille des domaines vitaux chez le buffle est fonction de l'effectif du troupeau, du type d'habitat disponible et de la période de l'année (Bothma, 2002).

Sinclair (1977), rapporte qu'en saison sèche, le domaine vital des troupeaux mixtes est généralement plus petit qu'en saison des pluies, car la distribution des troupeaux est réduite aux pâturages des bords de cours d'eau.

Stark (1986) observe le contraire au parc national de Bénoué (Cameroun) et note une extension du domaine vital en début de saison sèche lors des mises à feux précoces (61 km<sup>2</sup> contre 46 km<sup>2</sup>). Estes (1991) cite des superficies de domaines

vitaux de troupeaux mixtes allant de 10,5 km<sup>2</sup> à 296 km<sup>2</sup> au parc national Queen Elisabeth (Ouganda).

Funston et al (1994) ont suivi durant 14 mois les mouvements d'un troupeau mixte (effectif moyen : 248 têtes) dans les Réserve de Sabi Sand (Afrique du Sud). Ils rapportent des domaines vitaux saisonniers de 40 km<sup>2</sup> en été (« *hot dry pre-summer* et *moist hot summer* ») à 120 km<sup>2</sup> en hiver (« *cold dry winter* »).

Au parc national du W-Niger, on observe la forte présence du buffle qui va jusqu'à 17 individus par Km par dénombrement localisé sur 6 transects de longueur moyenne 6,13 km dans de la zone de Nyafarou (ECOPAS, 2006)

En ramenant le nombre de têtes par unité de superficie du domaine vital, Prins (1996) obtient à Manyara (en Tanzanie) près de 18 buffles par km<sup>2</sup> de DV. Au Serengeti (en Tanzanie), Sinclair (1977) évalue ce chiffre à 6,8 buffles. Funston et al, 1994 (Réserve de Sabi Sand) obtiennent 2 buffles par km<sup>2</sup> de DV dans la Réserve de Sabi Sand. Les valeurs les plus faibles sont citées par Stark en 1986 au Cameroun 0,8 et 1,19 buffles par km<sup>2</sup>, respectivement en saison sèche et en saison des pluies.

### **3.3 Déplacements**

Le buffle est par nature sédentaire et routinier. Deux ou trois zones meublées chacune d'un jeu de plusieurs itinéraires « abreuvoir – pâturage – remise », ainsi pourrait se schématiser l'espace utilisé par un troupeau tout au long de l'année pour Boy (1958). Les distances journalières parcourues par les buffles apparaissent très variables selon les saisons. Ainsi, Funston *et al.* (1994) rapportent qu'en saison sèche chaude, les troupeaux de la réserve de Sabie Sand (bordure Ouest du Parc National Kruger) se cantonnent dans une zone à proximité d'un point d'eau jusqu'à huit jours consécutifs et se déplacent après avoir réduit sensiblement la biomasse environnante. Ils notent qu'en saison sèche fraîche, les troupeaux pouvaient effectuer de longs déplacements nocturnes (10 km) à la recherche de meilleurs pâturages.

Dans son étude sur les déplacements du buffle au Parc National de la Bénoué (Cameroun), Stark (1986) observe que les buffles parcourent quotidiennement 7,2 km en saison des pluies, et 5,6 en saison sèche. Il observe des mouvements réguliers, presque rythmiques, vers les zones de nourrissage et les points d'eau en matinée et l'après-midi.

Au Serengeti, les troupes mixtes demeurent généralement dans la même zone durant trois à quatre jours, puis effectuent un déplacement nocturne de 10 à 15 km vers une autre zone. Il note toutefois l'occurrence de tels déplacements à la suite d'orages au début des pluies : dans ce cas, les troupes peuvent effectuer de longues distances pour rejoindre les zones arrosées par les pluies (Sinclair, 1977).

## **4 Les techniques spatiales au service des aires protégées**

### **4.1 Apport de la télédétection à l'étude des surfaces brûlées**

La "révolution" des satellites, de détection des feux de brousses se fait de plus en plus précise et aisée. Celle-ci en effet se fait à travers les capteurs embarqués au niveau des satellites. Ces capteurs sont dotés d'un ou de plusieurs canaux dans le visible et le thermique qui permettent de détecter les sources de chaleur. Sans pour autant effectuer une liste exhaustive des satellites de détection des feux, on peut en citer comme NOAA, LANDSAT, MODIS.....etc. (Valea, 2005a).

D'importants progrès ont été réalisés au cours de la dernière décennie dans les résolutions spatiale et spectrale des capteurs embarqués à bord des satellites d'observation de la terre d'une part, et dans les développements algorithmiques pour la détection des feux de végétation d'autre part. Les communautés scientifiques s'adonnent davantage à l'étude des combustions végétales par télédétection. L'intérêt de ces études réside dans l'évaluation des émissions atmosphériques et de la dynamique des peuplements végétaux induites par les feux. La plupart de ces études se sont appuyées sur des enregistrements issus des satellites de faible résolution spatiale (NOAA-AVHRR, MODIS, SPOT VEGETATION) présentant un double avantage : la grande fréquence de passage et la couverture de superficies importantes (Collins et Joachim, 2006). Toutefois, il faut noter que ces enregistrements présentent des limites au rang desquelles l'omission des feux dont la température ou l'extension spatiale est insuffisante pour marquer la radiométrie du pixel. Ces données ne permettent pas de discrétiser efficacement les surfaces affectées par les feux pour l'établissement des cartes des superficies brûlées. Leur validation nécessite des mesures au sol ou l'exploitation de l'imagerie haute résolution spatiale comme LANDSAT ...etc. (kane et *al.*,1993).

Les méthodes d'identification et de caractérisation des surfaces brûlées varient d'un utilisateur à l'autre en raison de la diversité des types de traitements (classification automatique du canal infrarouge thermique, classifications supervisées à partir des compositions colorées combinant divers canaux, ou par seuillage dans un ou plusieurs canaux) (Collins et Joachim, 2006). La télédétection peut contribuer à l'estimation des dégâts et à l'établissement d'une carte de la nouvelle situation et

mise à jour la base de données. La télédétection peut permettre un suivi régulier donné à une échelle satisfaisante de l'événement pendant le temps de la catastrophe et la gestion des risques de feux de forêts d'un parc par :

- La planification et le suivi de campagnes de feux contrôlés ;
- Le suivi de l'ouverture du réseau de piste ;
- La surveillance d'activités illégales ;
- L'alerte précoce pour les feux catastrophiques de fin de saison ;
- L'analyse post-saison du régime des feux et de leur impact.

Dans cette optique, les données à résolution spatiale moyenne, avec un pixel de 100 à 300 m, sont plus adaptées aux besoins de suivi régulier d'un parc donné à une échelle satisfaisante. Les capteurs MERIS (Agence Spatiale Européenne) et MODIS (NASA) offrent actuellement ce type de données (Grégoire et Mayaux, 2003)

#### **4.2 Le suivi télémétrique de la grande faune**

Pour caractériser l'occupation spatiale et la mobilité d'animaux sauvages, les études actuelles ont recourt à la technologie GPS (Système de positionnement global).

Pour les grandes espèces, ces GPS sont intégrés à des colliers portés au cou (figure 4).

Les GPS de nouvelle génération ont une précision de l'ordre de 10 mètres. La capacité des batteries autorise aux GPS une capacité d'enregistrement de 12.000 à 15.000 points, soit globalement l'équivalent d'une localisation de l'animal toutes les 30 minutes durant 12 mois consécutifs. Pour une espèce comme le buffle, le poids de l'équipement ne dépasse pas 1250 grammes, soit une fraction négligeable du poids de l'animal. Ces colliers sont ajustables (+ ou - 9 cm) à la taille des animaux.

Les colliers sont équipés d'un émetteur VHF (Very High Frequency) dont les fréquences sont comprises entre 148 Mhz et 152 Mhz.

Chaque collier est muni d'un système de libération automatique. La libération reste toutefois télécommandable pour retrait anticipé en cas de problème.

Les GPS sont équipés d'un modem de radio communication UHF (Ultra High Frequency) qui offre la possibilité de télécharger les données GPS (à une distance

de 2 à 6 Km) et de reprogrammer les récepteurs GPS. Les GPS peuvent être programmés pour acquérir des données à des intervalles de temps compris entre 5 min et 6 h.

Les colliers GPS peuvent en outre être équipés des capteurs suivants :

- un capteur d'activité bi-directionnel (haut-bas et droite-gauche) permettant une mesure d'activité toutes les 5 minutes et la mémorisation du temps passé en position basse. Les données issues de ce capteur sont stockées en mémoire et téléchargeables par le modem radio;
- un capteur de température extérieure. Les données issues de ce capteur sont stockées en mémoire et téléchargeables par le modem radio.
- un capteur de mortalité permettant de savoir si l'animal est mort par la mise en route automatique d'un signal d'alarme émis par l'émetteur VHF (guide Lotec, données du constructeur).



Figure 4: colliers ajustables  
selon la taille des animaux

### 4.3 Les indices de végétation

Le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) fait partie de nombreux indices dérivés des mesures de réflectance spectrale dans différentes longueurs d'ondes. Son principe se base sur les différences de réflexion au rouge et proche infrarouge de la matière végétale verte (<http://www.cybergeogeo.eu/index2761.html>. et Djaby et al., 1998). Le principe explique aussi pourquoi les bandes du rouge et du proche infrarouge sont les plus utilisées pour le calcul du NDVI. Le NDVI est le rapport entre la différence des réflectances des canaux PIR et R à leur somme ( $(PIR-R)/(PIR+R)$ ) (Brun, 2004).

La valeur du NDVI est comprise entre -1 et 1 et n'a pas d'unité. La valeur 0.5 du NDVI est un seuil indiquant une présence minimale de végétation correspondant à



100kg de matière de sèche/ha avec une couverture de 1%. Cet indice est utilisé comme indicateur dans le suivi global de la végétation : estimation de la production primaire, biomasse totale aérienne, rendement de la végétation cultivée et détermination de l'occupation des sols (Djaby et al, 1998).

Le NDVI est un bon indicateur de la phénologie de la végétation, celle-ci intégrant à la fois des caractères biologiques propres aux espèces et des caractères environnementaux qui ne sont pas sans conséquences sur les activités globale de la végétation.

Les indices permettent de caractériser la végétation : les indices faibles signifient une sécheresse et les indices élevés expriment des végétaux actifs. Le maintien des valeurs du NDVI signifie une longue période végétative (Perez et Muller, 1993)

Le NDVI est sensible à plusieurs paramètres qui peuvent influencer la réponse spectrale des végétaux (entraînant une variabilité dans la réponse spectrale des végétaux). Ainsi le NDVI est sensible :

- aux caractéristiques du couvert végétal dont notamment les feuilles, la densité des espèces, la géométrie du végétal,..... etc. affectant l'apparence texturale de la plante et responsable de la complexité de l'interprétation. Le NDVI souffre ainsi d'une rapide saturation en milieu de végétation dense et la contribution du sol en région de faible densité de végétation rend son interprétation douteuse. Son interprétation peut donc être biaisée dans les régions arides ou sujettes aux sécheresses.

- aux conditions atmosphériques telles que les nuages, les poussières, la brume, la vapeur d'eau..... qui diminuent la valeur du NDVI

- à la géométrie de la visée (condition d'illumination, condition de visée paramètre du capteur,.....) qui peuvent diminuer la réflectance des végétaux.

- aux conditions de l'environnement notamment la topographie, la pédologie, la géologie, humidité relative,.....) qui ont un effet perturbateur de la réflectance (Beaudin, 2007).

## **PARTIE 2. MATERIELS ET METHODE**

Nous avons choisi dans ce chapitre de décrire les matériels et la méthode utilisés selon les thèmes absorbés dans les objectifs de l'étude :

- Suivi des feux de brousse au parc régional du W
- Influence des pâturages sur la dynamique spatio-temporelle des buffles
- Influence du feu précoce sur les pâturages

Ce choix a été adopté afin de :

\*rendre plus exploitable le document par comparaison de la méthodologie et des résultats pour chaque thématique ;

\*de faciliter au lecteur la compréhension des choix méthodologiques adoptés.

## **1 Suivi des feux de brousse au parc régional du W**

### **1.1 Matériels**

Les images MODIS à moyenne résolution spatiale (~ 250 m) MODIS et leurs produits dérivés constituent actuellement l'une des meilleures sources d'information pour le suivi des brûlis. L'imagerie satellitaire à basse résolution spatiale (SPOT-VGT ; ~ 1000 m) n'offre qu'un potentiel limité pour renforcer le suivi effectué avec de l'imagerie moyenne résolution (MODIS).

#### **1.1.1 Images MODIS à 250 m/produits surfaces brûlées**

Le choix des images MODIS se justifie par leur moindre coût car elles sont accessibles sur le site du JRC (Joint Research Center) dans le cadre de la collaboration scientifique entre le programme ECOPAS et le JRC. Deux satellites permettent d'acquérir ces données sur les feux de brousse: le porteur TERRA (T) et le porteur AQUA (A) qui appartiennent tous les deux au système Earth Observing System (EOS) de la NASA. Ces satellites permettent d'avoir des données sur les feux deux fois par jour (tableau 1).

Tableau 1: Systèmes d'observation Terra-Aqua / MODIS

Capteur	opérationnel depuis	Acquisition (heure locale)	résolution spatiale capteur
Terra-MODIS	janvier 2000	10h30 et 22h30	250 m
Aqua-MODIS	mai 2002	13h30 et 01h30	250 m

La fréquence de passage (deux fois par jour) permet de capter un grand nombre de feux actifs et de détecter les surfaces brûlées. Aussi, la résolution des données utilisées (250m) est favorable par rapport à d'autres capteurs de plus basse résolution.

Par ailleurs, le capteur MODIS permet d'observer le complexe WAP dans de bonnes conditions une fois toutes les deux semaines, en moyenne (figure 5), cela est dû en grande partie aux effets atmosphériques (couverture nuageuse, fumée ...).

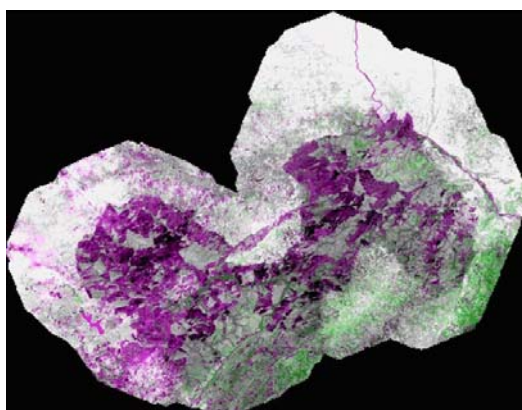


Figure 5 : Surfaces brûlées de novembre 2006 du complexe WAP observées avec le capteur MODIS

*On observe : i) en mauve: surfaces parcourues par les feux; ii) en vert: surfaces occupées par un couvert végétal vivant et relativement dense; iii) gris clair et blanc: surfaces à très faible couverture végétale.)*

Chaque image MODIS est accompagnée d'un fichier de vecteurs. Les polygones de ce fichier correspondent aux surfaces brûlées détectées par l'algorithme du JRC (cf. § 1.2.1). Ce sont ces fichiers qui seront essentiellement exploités pour le suivi des feux de brousse au parc régional du W. Les images MODIS 250m retenues sont celles qui se rapportent à la période de la campagne de feux de brousse (tableau 2).

Tableau 2: Images MODIS exploitées pour la cartographie des surfaces affectées par les feux de la saison sèche 2006-2007 au PRW

Campagne de feux	Jour d'acquisition
2006-2007	12 et 26 novembre 2006
	07, 16 et 28 décembre 2006
	08 et 26 janvier 2007
	02, 07 et 16 février 2007
	04, 20 et 29 mars 2007

Les images MODIS 250m des surfaces brûlées et les fichiers vecteurs de la campagne de feu 2006-2007 du complexe WAP ont été téléchargées sur le site Web du JRC (<http://www.jrc.ec.europa.eu>). Les images sont en format TIFF et la projection en degrés décimaux. Les fichiers vecteurs sont en projection UTM-31N /WGS 84.

#### 1.1.2 Carte d'occupation de sols du parc régional du W

Nous avons utilisé la carte de végétation du parc régional du W établie par Deivispelaere (2003) avec des données LANDSAT. Elle a été utilisée aussi pour extraire les surfaces occupées par les cuirasses et les roches affleurantes.

### 1.2 Méthode

#### 1.2.1 Description de la méthodologie du JRC pour le suivi de feux de brousse

Une fois la zone d'intérêt extraite de l'image d'origine et corrigée géométriquement, il faut définir un seuil radiométrique pour séparer les surfaces brûlées de celles qui ne le sont pas. Il s'agit notamment de la méthode par seuillage mise au point par Eva et Lambin en 1998.

Les algorithmes (Eva et Lambin de 1998) de détection des surfaces brûlées s'appuient généralement sur deux variations physiques observables sur le couvert végétal après le passage des flammes :

- une réflectance plus faible des surfaces brûlées que la végétation saine dans le moyen infrarouge

- une augmentation des températures de surface dans les zones brûlées pendant la journée en raison de la forte absorption des radiations solaires et de l'absence de l'évapotranspiration (7 à 8° Kelvin).

Pour chaque image de surface brûlée acquise, on lui détermine avec l'algorithme des seuils radiométriques caractéristiques. Les pixels ayant satisfait les critères de seuillage sont extraits du fichier image d'origine pour créer une carte des surfaces parcourues par les feux à la date considérée. Pour être exploitables, les images doivent être exemptes de nuages acquis le long de l'orbite du satellite.

Compte tenu de ces restrictions, l'intervalle de temps entre deux images exploitables est de l'ordre de 2 semaines pour le complexe du WAP. De cette façon, les capteurs MODIS ont pu fournir des informations spatiales et temporelles sur les surfaces brûlées au parc régional du W. Les données ont été traduites sous formes de couches cartographiques accessibles sur le site du JRC (Eva et *al.*, 2004 ; Grégoire et *al.*, 2007, Collins et Joachim, 2006).

### 1.2.2 Intégration des données dans un SIG

Les images mises à notre disposition sont celles du complexe WAP et nous avons utilisé le logiciel ArcGIS pour extraire le parc régional du W (Bénin, Burkina Faso et Niger). Les données ont également nécessité une reprojection en UTM-31N / WGS 84 qui correspond aux zones considérées, puis associées aux contours du parc régional du W.

Nous avons utilisé les fonctionnalités du logiciel ArcGIS étape par étape pour collecter et exploiter l'information de l'imagerie satellitaire afin de produire des cartes spatio-temporelles des feux.

## **2 Influence du feu précoce sur les pâturages**

### **2.1 Matériels**

Les indices de végétation sont des formules empiriques conçues pour fournir des mesures quantitatives qui sont souvent en rapport avec la biomasse et l'état de la végétation. L'indice le plus communément utilisé est le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) : Cet indice se calcule par combinaison des bandes spectrales Rouge et Proche Infra Rouge (PIR) des capteurs satellitaires :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR-ROUGE}) / (\text{PIR+ROUGE})$$

Plus la valeur de NDVI est élevée, plus la densité ou l'état de verdure de la végétation est important.

#### 2.1.1 Images SPOT-VEGETATION 1km/produit indice de végétation

L'instrument SPOT-VEGETATION est un capteur de résolution spatiale kilométrique embarqué sur les satellites SPOT-4 (depuis 1998) et SPOT5 (depuis Mai 2002). La fréquence de passage pour un site donné est presque journalière (un même point au sol est vu par le satellite 1 fois par jour). Les images NDVI sur l'Afrique de l'Ouest issues du traitement des données SPOT-Végétation sont des synthèses décennales et sont disponibles dans le cadre du projet VGT4AFRICA et sont exploitées par l'AGRHYMET dans le cadre du suivi de la campagne agricole. Ils sont archivés en format BSQ. Il est important de souligner que la qualité des données optiques de l'instrument SPOT-Végétation peut être détériorée par une couverture nuageuse.

#### 2.1.2 Divers

Plusieurs couches cartographiques ont été utilisées à cette étape de l'étude, on pourra citer les couches du réseau hydrographique et routier fournies par ECOPAS. De plus, les types de sols correspondant aux cuirasses et rochers affleurant ont été extraits de la carte de végétation (cf. 1.1.2)

### **2.2 Méthode**

#### 2.2.1 Echantillonnage

Pour le suivi de l'influence du feu sur les pâturages, nous avons choisi les surfaces brûlées par les feux très précoces (Novembre 2006), les feux précoces (décembre 2006) et des sites non brûlés pendant la campagne de feu 2006-2007.

Pour les sites brûlés, c'est l'ensemble des surfaces parcourues par le feu qui est pris en compte pour l'étude.

Pour l'échantillonnage des surfaces non brûlées, nous avons choisi 16 points (ou sites) en croisant la carte des feux de la saison 2006-2007(annexe 2) avec (1) la

carte du réseau hydrographique (mares et fleuves), (2) la carte du réseau routier et (3) la carte d'occupation de sols (sols nus et affleurements rocheux) pour éviter la contamination des pixels par une autre thématique. Nous avons ainsi construit avec ArcGis (figure 6), 16 polygones de 2km de diamètre autour de ces points (buffer) afin d'extraire les valeurs des pixels dans les cercles circonscrits sur les images d'indices de végétation. Ainsi, en considérant des cercles de 314 ha chacun, nous pensons tenir compte de l'hétérogénéité du milieu.

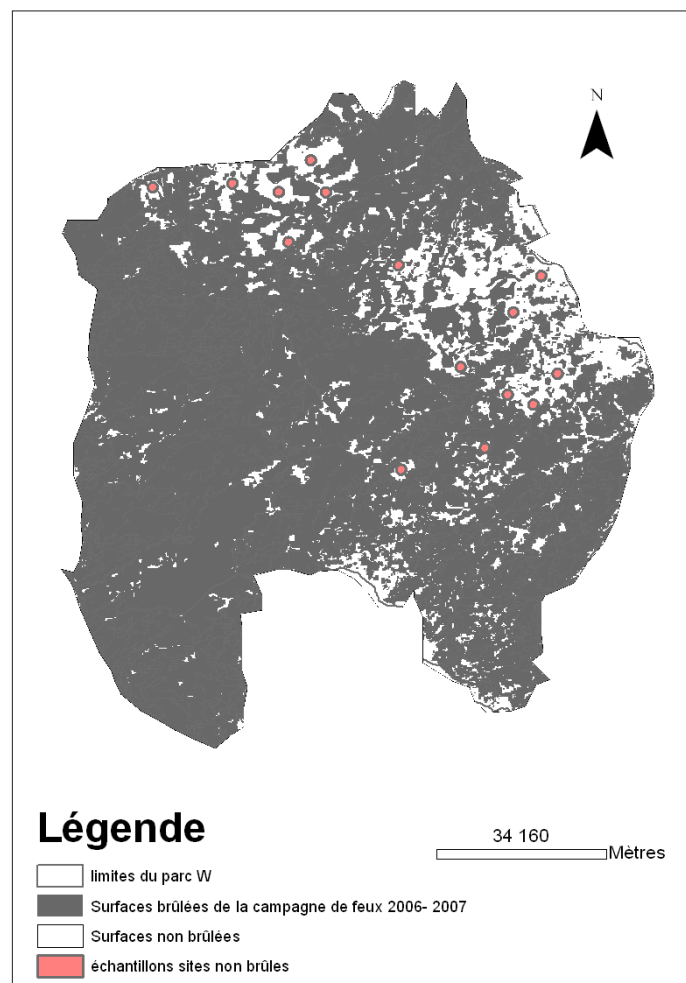


Figure 6: échantillonnage des sites non brûlés

### 2.2.2 Importation des images et extraction de la zone d'étude

Le logiciel ERDAS 8.7 nous permet d'importer les produits SPOT-VGT puis d'extraire la zone du complexe WAP (tableau 3).



Tableau 3 : Paramètres des produits NDVI SPOT-VGT

Paramètres	Images d'origine	Images extraites avec ERDAS
Longitude Coin NO (°)	-18	-0.02
Latitude Coin NO (°)	38	13.26
Longitude Coin SE (°)	25.99	3.55
Latitude Coin SE (°)	4.00	10.45
Nombre colonnes	3809	316
Nombre lignes	4929	401
Taille du pixel en X et Y	0.00892857140	0.00892857140
Projection	Lat /lon, WGS84	Lat /lon, WGS84
Formats	BSQ	tif

### 2.2.3 Calcul des comptes numériques et NDVI

Le calcul des valeurs du compte numérique se fait avec le logiciel ENVI (Environnement pour la Visualisation des Images) qui combine le fichier vecteur (surfaces brûlées ou buffer) et les images Spot végétation (figure 7). Sur chaque ces polygones, on calcule la valeur maximale du Compte Numérique-NDVI.

La formule suivante nous permet de passer du Compte Numérique - NDVI (CN-NDVI) au NDVI :

$$\text{NDVI} = -0,1 + (\text{CN} \times 0,004) \text{ avec CN= Compte Numérique}$$

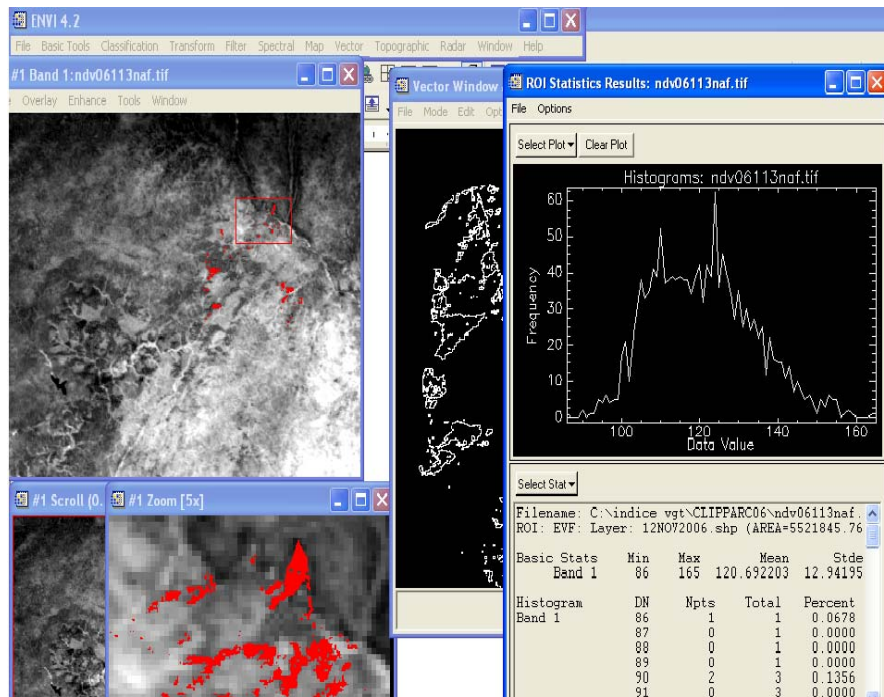


Figure 7: Procédure du calcul des comptes numériques-NDVI des surfaces brûlées

#### 2.2.4 Analyse des résultats

Les analyses sont faites à partir des représentations graphiques des valeurs maximales du NDVI sous forme de séries temporelles. C'est le seul indice qui a permis d'observer des différences du CN entre les surfaces brûlées et les sites non brûlés. Pour cette raison, nous avons décidé de garder le NDVI maximum comme indicateur de l'influence des feux précoces sur les pâturages.

Cette analyse est couplée avec les autres sources d'information sur les feux de brousse permettant une meilleure interprétation des résultats.

### **3 Influence des pâturages sur la dynamique spatio-temporelle des buffles**

#### **3.1 Matériels**

Les différentes options offertes par les SIG, nous permettent de comprendre la répartition des buffles vis-à-vis des ressources naturelles du Parc. Dans les paragraphes suivants, nous allons passer en revue les différentes données utilisées et les différents logiciels mis en contribution pour notre étude.

##### 3.1.1 Images MODIS 250m/ produit indice de végétation

Le Choix des produits des capteurs MODIS se justifie par leur moindre coût, en effet elles sont accessibles librement sur le site internet de la NASA (<http://maps.geog.umd.edu/>). Les images MODIS téléchargées sont celles comprises entre le 22 mars et le 26 juin 2007. Pour chaque période de 16 jours, un fichier au format Hierarchical Data Format (HDF) est obtenu. Ce fichier contient 11 bandes différentes. Nous avons utilisé la bande correspondante à l'indice de végétation normalisé (NDVI). Ainsi, chaque pixel de l'image correspond au maximum des indices observés sur la période de 16 jours. Il est important de noter qu'une correction atmosphérique est effectuée pour le NDVI grâce à un capteur spécifique embarqué sur la plateforme TERRA. Ceci est important, car il est reconnu que le NDVI est un indice très sensible aux conditions atmosphériques. C'est pour cette raison, nous avons calculé de façon marginale l'EVI (indice de végétation amélioré ou Enhanced Vegetation Index) qui est moins sensible aux effets atmosphériques. Les valeurs obtenues sont souvent similaires à celles du NDVI.

##### 3.1.2 Données de positionnement des buffles

Les buffles sont des animaux très mobiles, grégaires et souvent agressifs. Ainsi, dans le cadre du projet Mobilité/ECOPAS, les déplacements de 9 groupes ou troupeau (n°1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11 et 13) de buffles ont été suivis par satellite. La

méthode consiste à équiper un binôme (mâle et femelle) du troupeau de colliers comprenant un GPS (Global Positioning System) programmé qui enregistre les positions des buffles toutes les 3 heures, un émetteur VHF (Very High frequency) et un modem de radio communication UHF (Ultra High frequency) (annexe 3). Ce modem permet le téléchargement des données de position dans un rayon de 2 à 6 km autour du collier. Les données sont ensuite importées dans un SIG. Cette dernière étape permettant la spatialisation des données relatives au domaine vital (DV) des buffles sous forme de kernels de présence de buffles. Une mission de terrain (11 au 14 août 2007) nous a permis de bien comprendre cette méthodologie.

### 3.1.3 Données de comptage des buffles

Pour l'analyse de la dynamique spatio-temporelle des domaines vitaux des buffles au parc régional du W, nous avons utilisé les fichiers vecteurs du comptage des buffles de Mike (Monitoring the illegal Killer of Elephants) du 21 au 23 avril 2003 et celui du projet Ecosystèmes protégés en Afrique Soudano-Sahélienne (ECOPAS) de mars 2007.

### 3.1.4 Logiciels

Les logiciels mis en contribution pour cette étude sont :

- Logiciels de traitements d'images le *MODIS Re-projection Tools* (MRT) pour la conversion des images MODIS puis Envi pour le calcul du NDVI des domaines vitaux (DV).
- ArcGIS pour l'établissement des cartes de NDVI;
- Excel pour la réalisation des différents graphiques

## 3.2 Méthode

### 3.2.1 Estimation des domaines vitaux

Le domaine vital (DV) est « la zone régulièrement fréquentée par un animal ou un groupe familial d'animaux » (Rabeil, 2003). Cela nous revient à définir le DV dans

cette étude comme une structure émergente générée par le comportement de déplacement des buffles.

L'estimation des domaines vitaux (DV) des 9 troupeaux de buffles du 22 mars au 26 juin 2007 a été réalisée par l'équipe du volet Mobilité / ECOPAS à partir des données de localisation récoltées sur les buffles équipés d'un collier GPS en se servant de la méthode des kernels fixes.

Les Kernels sont une représentation schématique du domaine vital du groupe (figure 8). Les kernels sont conçus sous forme de synthèse des déplacements des buffles tous les 16 jours à l'image des produits MODIS-NDVI (tableau 4).

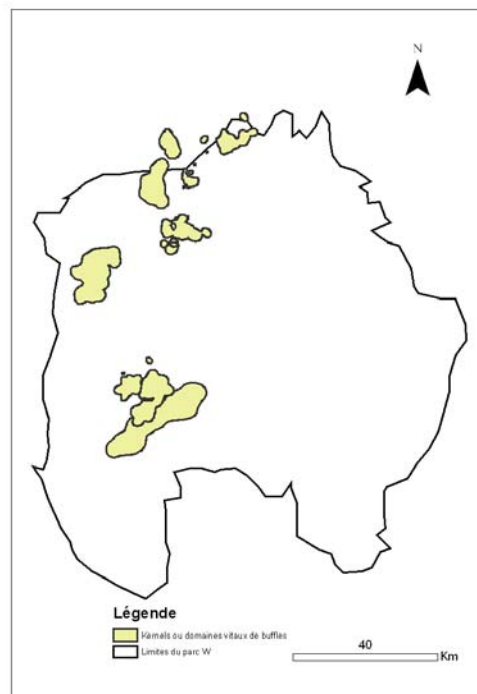


Figure 8: Exemple de domaines vitaux des buffles au parc régional du W estimés sous de forme kernels

Tableau 4: Kernels et images MODIS

	Images MODIS						
kernels	22 mars au 7 avril	8 au 23 avril	24 avril au 9 mai	10 au 25 mai	26 mai au 10 juin	11 au 26 juin	27 juin au 12 juillet
Périodes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7

### 3.2.2 Conversion des images MODIS

Les images MODIS /produits indices de végétation sont au format *Hierarchical Data Format* (HDF) et projection sinusoïdale. Les logiciels ERDAS 8.7 et ArcGIS 9 ne lisent pas ce format. Ainsi, nous avons utilisés le *MODIS Re-projection Tools* (MRT) pour la conversion des images au format TIFF en projection sinusoïdale.

### 3.2.3 Etablissement des cartes de NDVI

Le NDVI est le paramètre utilisé pour l'étude de l'influence des pâturages sur les mouvements des buffles dans le parc régional du W. Ainsi, les cartes de NDVI sont réalisées en fonction des périodes de suivi des buffles :

- Les images MODIS produits NDVI du 22 mars au 26 juin 2007 correspondant à la période du suivi télémétrique du volet mobilité ;
- L'image Spot végétation de la 3<sup>e</sup> décade d'avril 2003 correspondant au comptage des buffles de Mike du 21 au 23 avril 2003 ;
- L'image Spot végétation de la 1<sup>e</sup> décade de mars 2007 pour le comptage ECOPAS de mars 2007.

### 3.2.4 Calcul des indices de végétation :

Les images MODIS 250m/produit NDVI et les fichiers vecteurs des DV ont été utilisés pour l'extraction des statistiques du NDVI moyen des pixels de chaque kernel (figure 7).

Le logiciel ENVI exécute le calcul en donnant les valeurs minimales, maximales et moyennes des indices de végétation. Dans le cadre de cette étude, seule les valeurs NDVI maximum sont prises en compte pour l'analyse des données.

### 3.2.5 Analyse de la dynamique du domaine vital

Pour étudier la dynamique du DV, il faut au moins prendre en compte deux paramètres : l'eau et le fourrage. Concernant l'eau, plusieurs études (Rabeil en 2003 et Mike en 2003) et le survol du projet ECOPAS de 2007 ont montré des noyaux de

concentration de buffles autour des points d'eaux. Nous ne traiterons pas de cet aspect dans la présente étude, seul le NDVI sera ici pris en compte pour l'analyse de la dynamique des domaines vitaux des buffles au parc régional du W. L'analyse comprendra :

- Une étude descriptive de la répartition des buffles. En général les résultats de cette étude sont cartographiés ;
- Une étude des causes de cette répartition c'est à dire une analyse des impacts du NDVI sur la de la dynamique des domaines vitaux.

Cette analyse est couplée avec les autres sources d'information sur la dynamique des buffles permettant une meilleure interprétation des différentes données.

## **PARTIE 3. RESULTATS ET ANALYSES**



Dans cette partie, nous décrivons les résultats pour chacune des thématiques abordées :

- Suivi des feux de brousse au parc régional du W
- Influence des pâturages sur la dynamique spatio-temporelle des buffles
- Influence du feu précoce sur les pâturages

Nous effectuerons ensuite une analyse critique des résultats selon le même plan.

## **1 Suivi des surfaces brûlées au parc régional du W**

L'utilisation des produits issus de la télédétection nous a permis de suivre et de cartographier l'évolution spatio-temporelle des surfaces parcourues par les feux dans le parc régional du W de la campagne de feux 2006-2007.

L'analyse spatio-temporelle des cartes des surfaces brûlées au parc régional du W montre bien l'existence des deux grandes périodes de feux (feux précoces et feux tardifs). :

### **1.1 Feux précoces :**

Il s'agit de la période de forte ampleur des feux qui va de novembre à décembre. Les feux de cette période sont dits « feux précoces ». Les surfaces parcourues par les feux apparaissent en blocs homogènes très étendus (figure 9-b, c, d et e). Ceci témoigne de l'importance de la biomasse qui permet la progression du front des flammes sur de grandes distances. En début de la campagne de feux, la périphérie du parc régional du W brûle (figure 9-a). Puis, progressivement, le centre brûle (figure 9-b, c, d et e). Cependant, on observe que la partie nord-est semble, plus épargnée par les feux que le reste du parc (figure 9-e). Durant la campagne de feux 2006 – 2007, nous avons calculé que les surfaces brûlées par les feux précoces représentent environ 73% de la superficie totale du parc. Cependant l'importance de ces surfaces varie d'un mois à l'autre. C'est ainsi que les surfaces brûlées sont de 56% pendant le mois de novembre et 17% le mois de décembre (figure 11).



Figure 9 -a

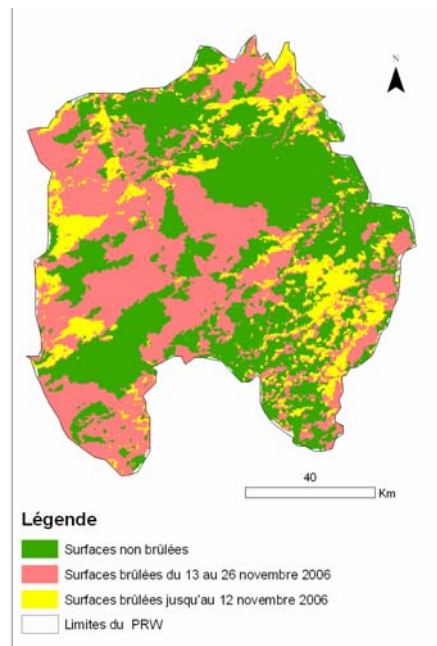


Figure 9-b

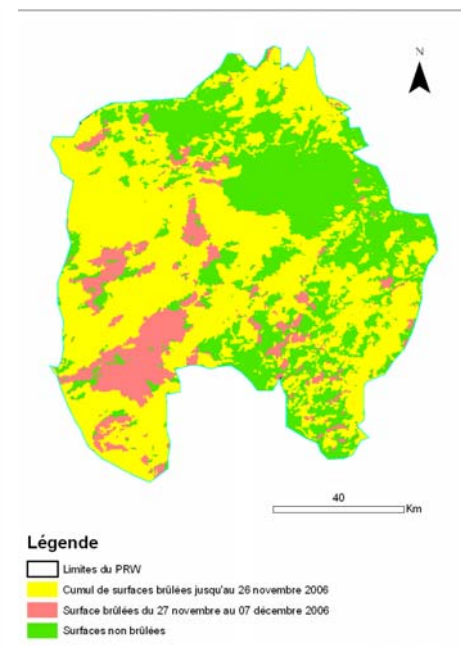


Figure 9-c

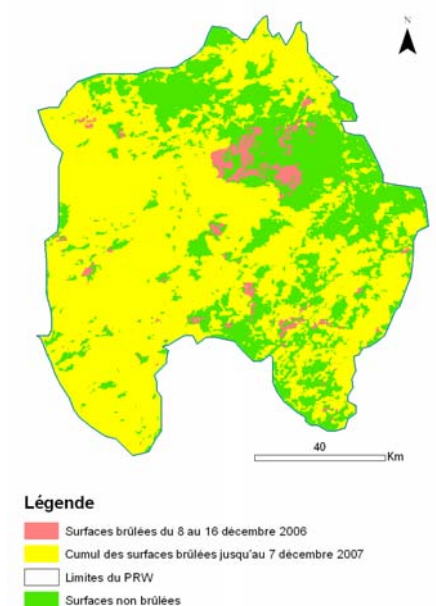


Figure 9-d

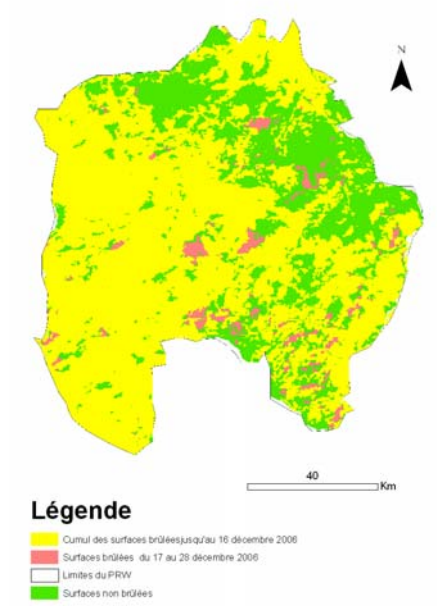


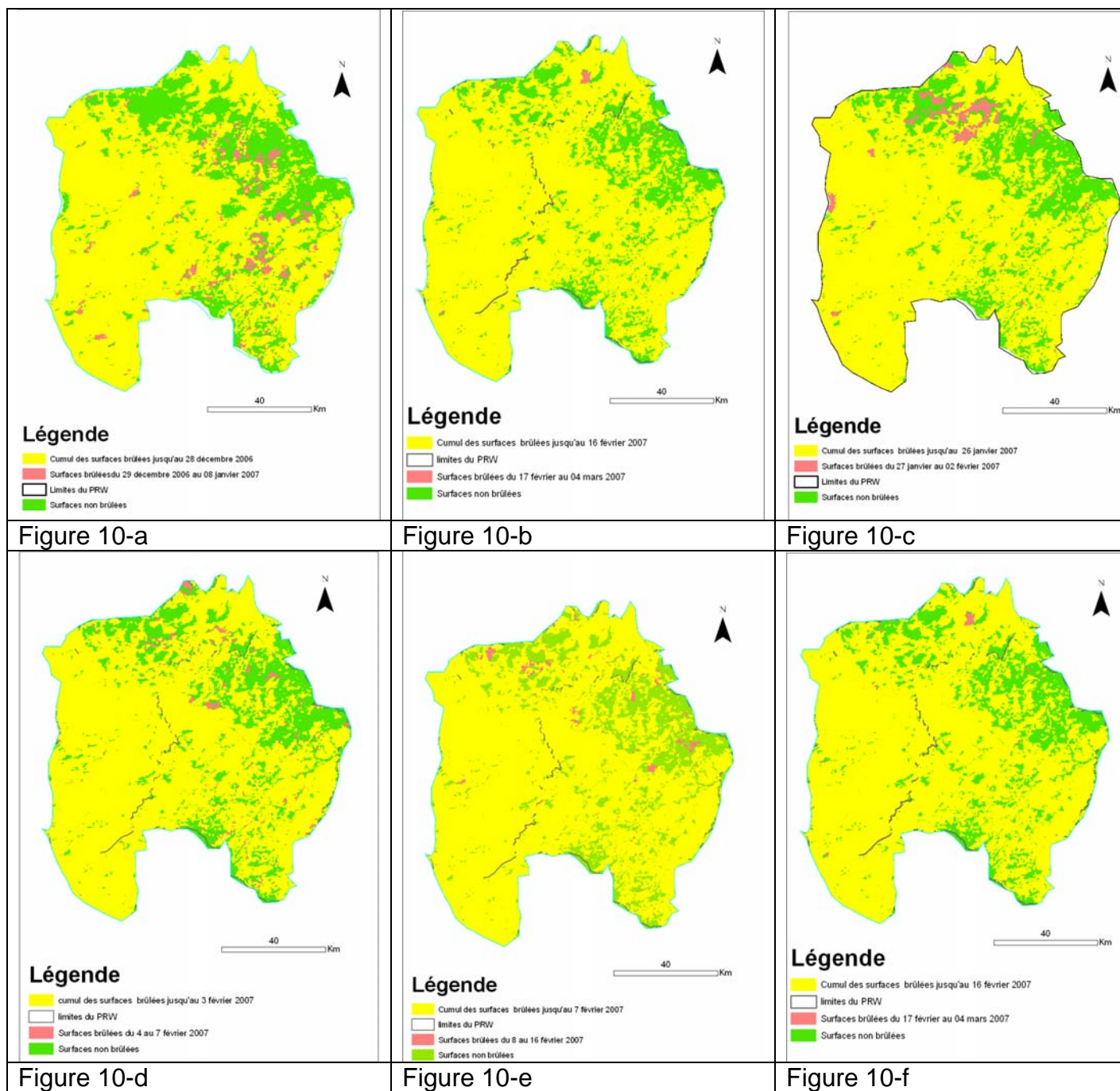
Figure 9-e

Figure 9 : a, b, c, d et e: Dynamique spatio-temporelle des surfaces brûlées par feux précoces au parc régional du W

## 1.2 Feux tardifs :

La période des feux tardifs est plus longue que celle des feux précoces. Elle dure de janvier à mars (figure 10-a, b, c, d, e, f, g et h). Cependant, durant la saison de feux 2006 – 2007, nous avons calculé que ces feux ne représentent que 12% de l'ensemble des surfaces brûlées du parc régional du W (figure 11). Les surfaces

parcourues par les feux tardifs se localisent essentiellement dans le nord-est du parc régional du W. Contrairement aux feux précoces, les surfaces brûlées par les feux tardifs sont en blocs dispersés et de petite taille.



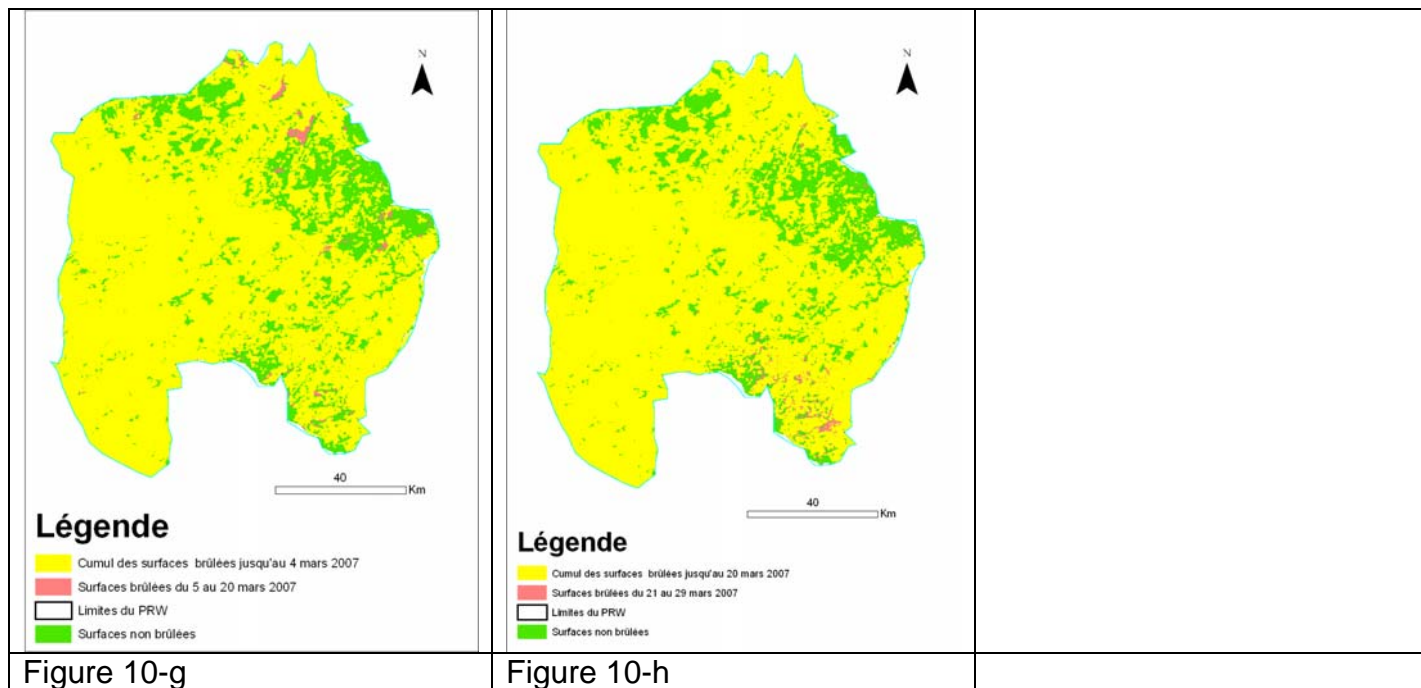


Figure 10 : a, b, c, d, e, f, g et h : Dynamique spatio-temporelle des surfaces brûlées par feux tardifs au parc régional du W

On remarque une nette différence entre la zone de forte occurrence des feux précoces et celle des feux tardifs (figure 12). Cette occurrence des feux suit un gradient climatique nord sud qui détermine la répartition de la végétation (annexe 4). Le secteur qui a la forte occurrence de feux s'apparente au domaine soudanien typique dominé par une végétation arbustive et parfois arborée avec une dominance des graminées vivaces sur les annuelles. C'est la partie par excellence des feux précoces. Par contre le Nord Est et l'Est du parc sont le domaine du sahel. En effet, lorsqu'on passe du domaine sud soudanien à celui sahélien, la réduction de la biomasse entraîne du même coup une réduction des événements de feux précoces.



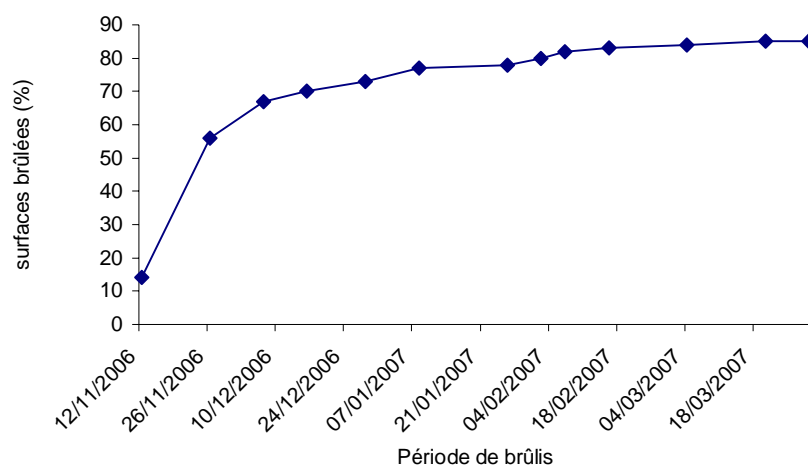


Figure 11: Evolution du cumul des superficies brûlées au parc régional du W au cours de la campagne de feu 2006-2007

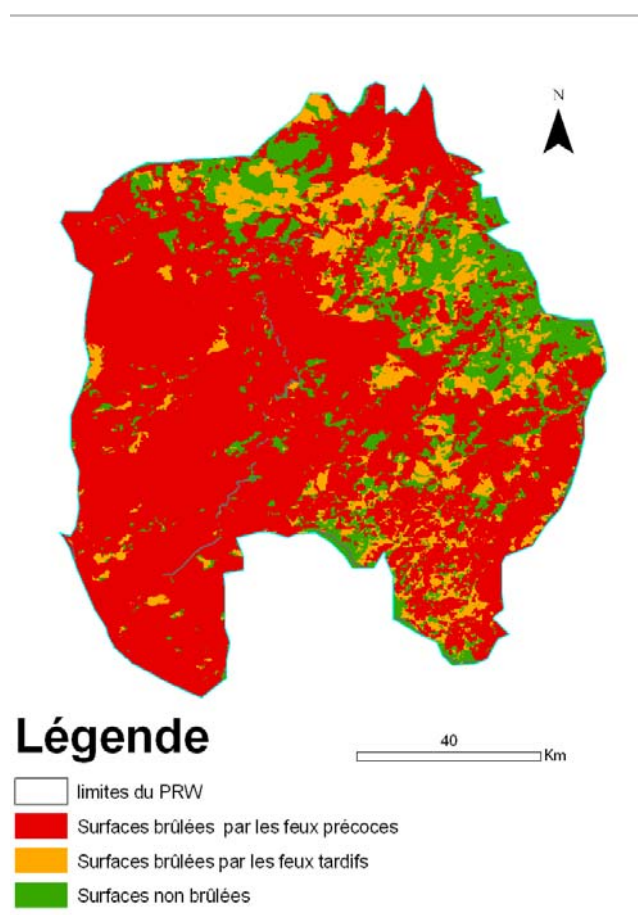


Figure 12: Carte de cumul de feux 2006-2007

Pour conclure cette partie, les cartes nous ont permis de :

- Caractériser l'évolution spatio-temporelle des surfaces parcourues par les feux précoces et tardifs ;
- Constater que 85% du parc régional du W ont brûlé pendant la campagne de feu 2006-2007 ;
- Dont 73% entre novembre et décembre et 12% entre janvier et mars.

## **2 Influence des feux précoces sur les pâturages**

Le suivi de l'évolution du NDVI des surfaces parcourues par le feu précoce et des surfaces non brûlées au parc régional du W de novembre 2006 à juin 2007 est réalisée à partir des images spot végétation/produits indice de végétation et polygones des surfaces brûlées issus du traitement des images MODIS par le JRC ainsi que les *buffers* des surfaces non brûlées.

### **2.1 NDVI des sites de brûlis très précoce et non brûlés**

La mise à feu se distingue très nettement sur la courbe du NDVI (Figure 13). En effet, la période de mise à feu (flèche verticale, figure 13) est suivie d'une chute puis une remontée des valeurs du NDVI sur la décade qui suit le brûlage.

L'allure de la courbe des NDVI des sites de brûlis très précoce et non brûlés est similaire de décembre à février. Cependant, on note une légère hausse du NDVI des sites des feux précoces sur celui des sites non brûlés à partir de la 3<sup>e</sup> décade d'avril. On peut observer que certaines valeurs NDVI pourraient être assimilées à des problèmes liés à l'image (exemple de la 3<sup>ème</sup> décade de Juin des sites non brûlés, figure 13).

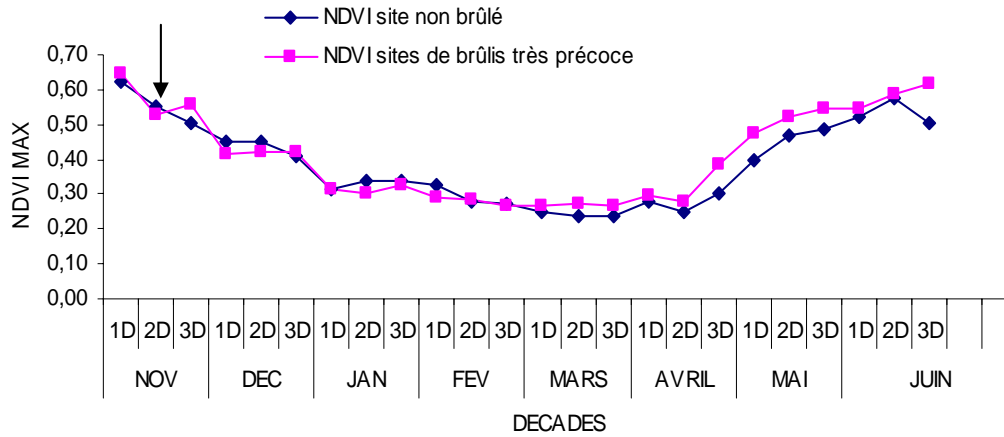


Figure 13: Evolution du NDVI des sites de brûlis très précoce et sites non brûlés

## 2.2 NDVI des sites non brûlés et brûlés par les feux précoces

Comme pour le cas des feux très précoces, la mise à feu se distingue très nettement sur la courbe NDVI (figure 14). Le NDVI des sites non brûlés maintient une légère hausse de décembre à la 2<sup>e</sup> décennie de février sur le NDVI des sites brûlés par les feux précoces. Entre la 2<sup>e</sup> décennie de février et la 1<sup>e</sup> décennie de mars, le NDVI a pratiquement les mêmes valeurs sur tous les sites. A partir de 2<sup>e</sup> décennie de mars, le NDVI des sites brûlés est nettement supérieur à celui des sites non brûlés (figure 14).

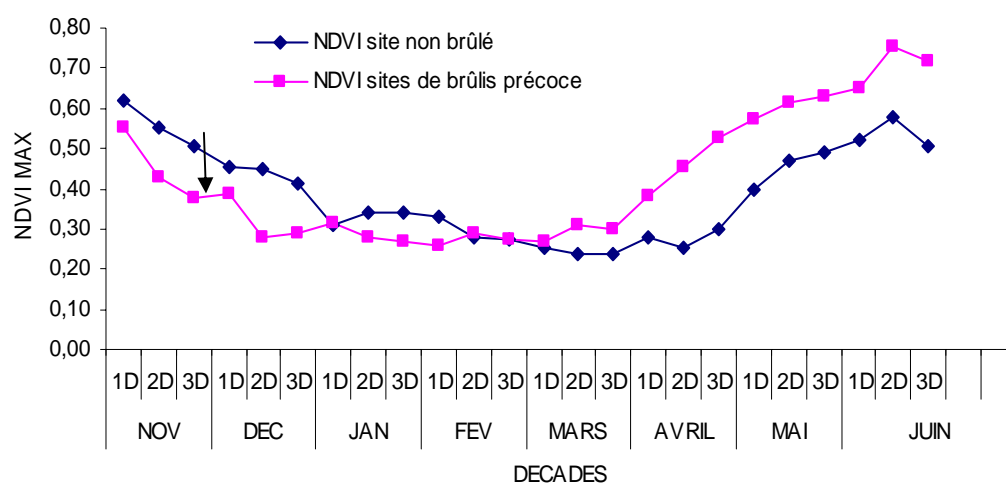


Figure 14: Evolution du NDVI des sites de brûlis précoce et sites non brûlés



### 3 Influence des pâturages sur la distribution spatio-temporelle des buffles au parc régional du W

#### 3.1 Distribution des buffles à l'échelle du parc et variation du NDVI

##### 3.1.1 Distribution des buffles d'après le comptage Mike de 21 au 23 avril 2003 et variation du NDVI

Ce comptage correspondait à la période de début des pluies, cette année là.

Les aires de forte concentration des buffles sont les zones où le NDVI est compris entre 0,40 et 0,50. On observe aussi une distribution disparate des buffles dans la partie où le NDVI est compris entre 0,25 et 0,40. Mais la zone sud qui présente les valeurs maximales du parc ne semble pas habitée par les buffles (figure15).

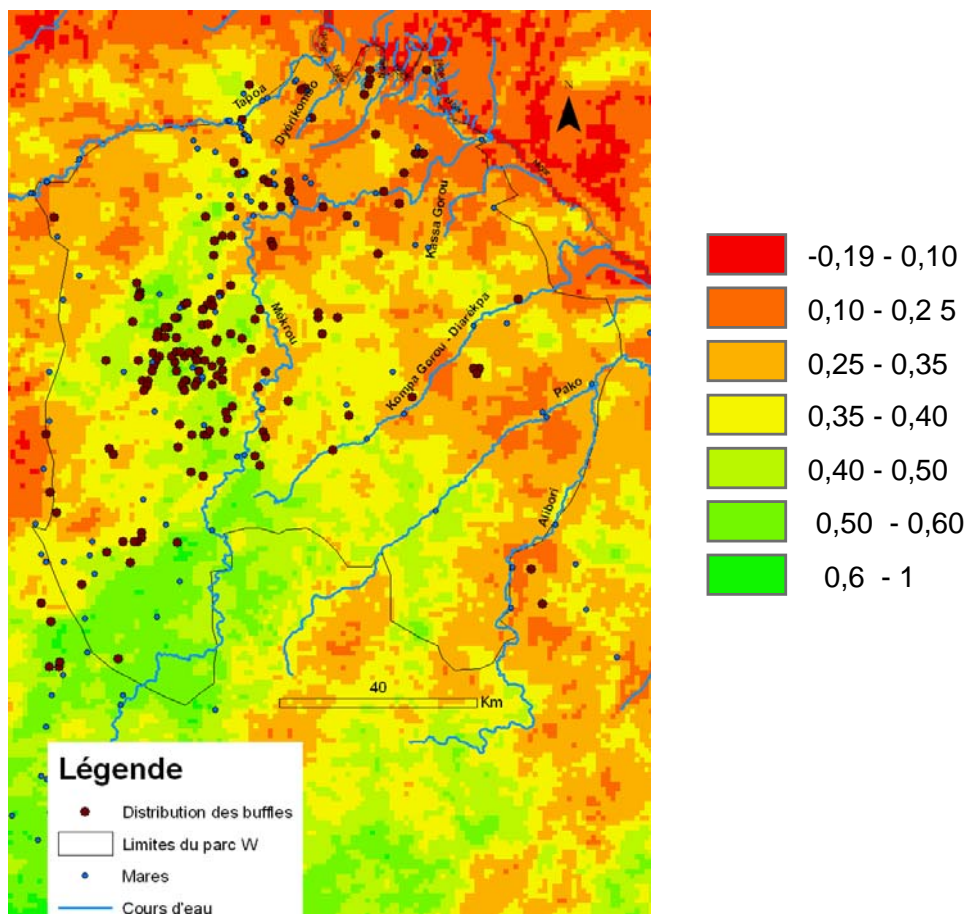


Figure 15: Distribution spatiale des buffles et NDVI de la 3e décade d'avril 2003 au parc régional du W

### 3.1.2 Distribution des buffles d'après le comptage ECOPAS de mars 2007 et variation du NDVI

Ce comptage correspondait à la fin de la saison sèche, c'est-à-dire avant le début de la saison des pluies (premières pluie : 3ème décade d'avril).

Les buffles sont localisés le long du fleuve Mékrou avec des NDVI compris entre 0,35 et 0,50 (figure 16). Quant au restant du parc, il existe des zones de forte de valeurs de NDVI qui ne sont pas habitées par les buffles.

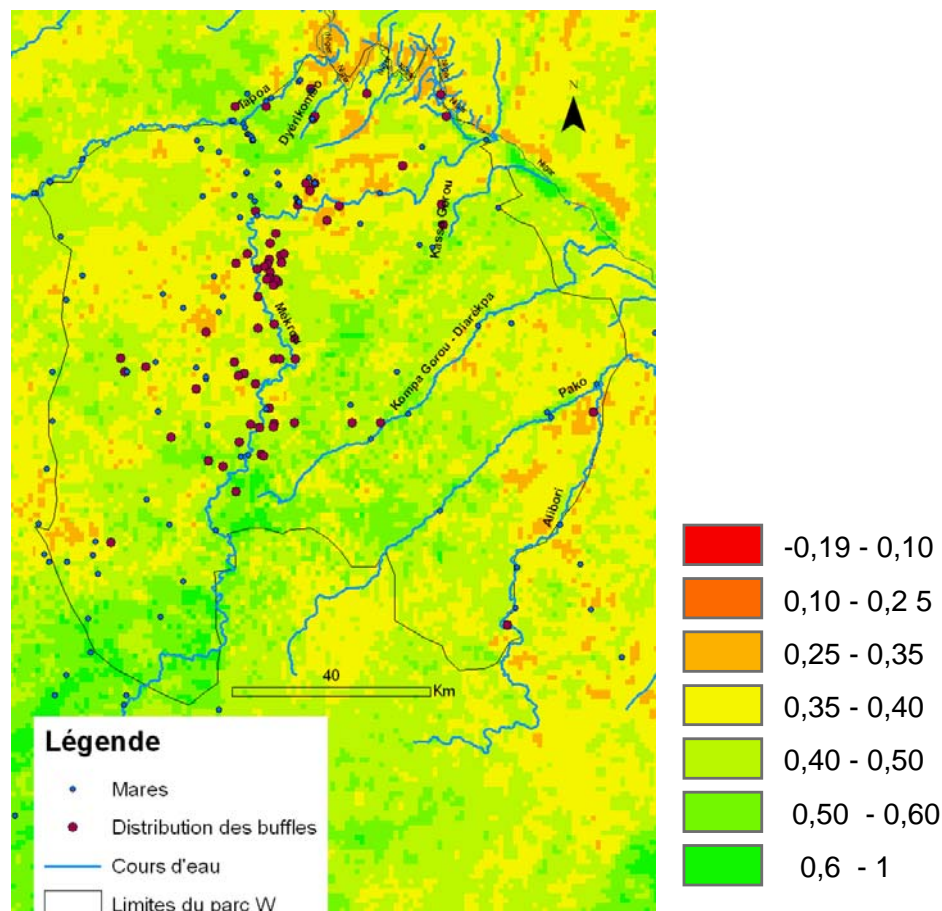


Figure 16: distribution spatiale des buffles et NDVI de la 1e décade de mars 2007 au parc régional du W

### 3.1.3 Dynamique temporelle des domaines vitaux des troupeaux de buffles

Quelle que soit la saison, l'ensemble des groupes de buffles montre des modes similaires de sélection de l'habitat. En général, les sélections sont tournées vers des sites où le NDVI est de valeurs moyennes (0,3 – 0,63), et les alentours des points d'eau :

- *période du 22mars au 7avril (P1)* : l'analyse spatio-temporelle des DV montre que les buffles sont concentrés autour des cours d'eau (figure 17- a .) aux mois de mars et début avril, c'est-à-dire avant le début des premières pluies. Le NDVI de ces zones habitées par les buffles varient entre -0,89 et 0,37. Tandis que ceux des zones non habitées sont compris entre 0,37 à 0,50.
- *période du 8 au 23 avril (P2)* : les DV sont restés sur pratiquement les mêmes sites de mars (figure 17- b.). Toutefois, on remarque que le NDVI des DV du sud ont légèrement augmenté et passent de 0,27 à 0,50. On remarque que la taille de ces DV a légèrement aussi augmenté avec un début d'émergence des DV vers le sud ouest.
- *période du 24 avril au 9 mai (P3)* (figure 17- c) est marquée par une légère hausse du NDVI dans le sud ouest par rapport au nord est. Les DV semblent se déplacer vers le sud ouest. La forme des DV indique que les buffles ont tendance à quitter les sites de faible NDVI vers ceux de valeurs plus fortes NDVI. L'émergence des domaines vitaux est surtout très remarquée chez les groupes 3, 6, 7,10 et 13. Les DV s'étirent sur de grandes distances (~30 km) en vue de trouver le site où le NDVI est meilleur. Il n'existe pas de sources (pluviomètre, estimation des pluies par satellite) nous permettant d'affirmer que les pluies avaient commencées à cette période dans le sud et le centre du parc.
- *période du 10 au 25 mai (P4)* (figure 17-d) : l'émergence des DV du sud ouest s'est arrêtée. On constate la réduction de la taille des DV. Les valeurs du NDVI sont comprises entre 0,50 à 0,63. Les DV sont sur des sites où les valeurs du NDVI sont les plus fortes du parc régional du W. Ainsi, les buffles qui se situent dans des zones riches du parc régional du W n'ont pas effectué de mouvements de grande amplitude pour trouver leur nourriture. Quant aux kernels du nord est, leur forme indique une dynamique des DV. On constate qu'ils sont sur des sites où le NDVI est compris entre 0,25 et 0,50. Ainsi pouvons-nous penser que les animaux se trouvant dans ce site ont besoin de fortement sélectionner des zones particulières pour en faire leur domaine vital. Les pluies ont commencé sur le nord du parc régional du W à cette période (pluie de 25mm à la Tapoa le 27/04).
- *période du 26 mai au 10 juin (P5)* : les buffles exhibent une sélection inverse à celle d'avril-mai, évitant la zone où le NDVI est élevé:( figure 17-e). L'émergence ou le déplacement des DV vers le sud ouest s'est arrêté (figure 17- e). Les DV remontent vers le NE où le NDVI est compris entre 0,25 et 0,50.

- période du 11 au 26 juin (P6): il y'a une reprise générale du NDVI sur le parc avec des valeurs comprises entre 0,35 et 1 (figure 17- f). Les buffles sont retournés vers leurs sites de la saison sèche. Les mouvements des buffles semblent dictés par des changements dans l'environnement et sont en relation le plus souvent avec les disponibilités en nourriture ou en eau.
- période du 27 juin au 12 juillet (P7) : la comparaison de la carte de cette période (figure 17- g) et de la précédente (figure 17- f), montre que les buffles sont restés relativement sur les mêmes DV. Ainsi, les buffles se trouvant dans des zones suffisamment riches en végétation n'auraient normalement pas besoin de rechercher fortement des sites plus riches pour leur domaine vital.

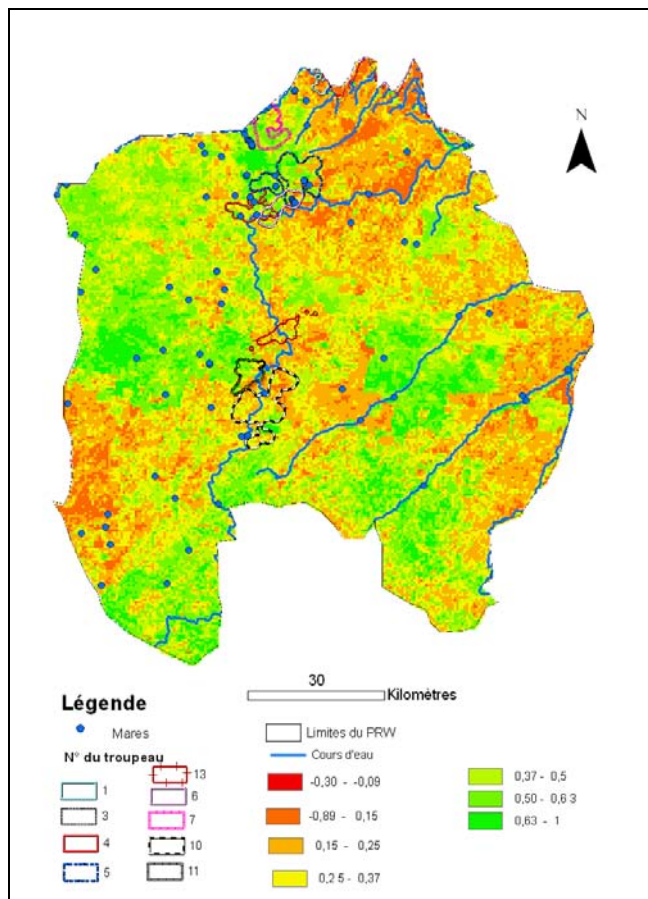


Figure 17-a (22 mars – 7avril 2007)

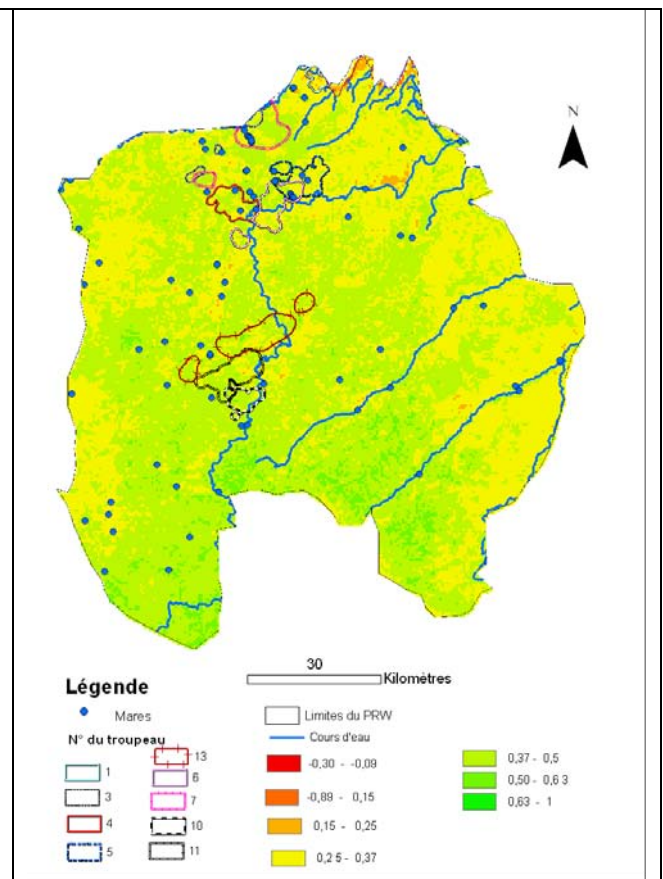
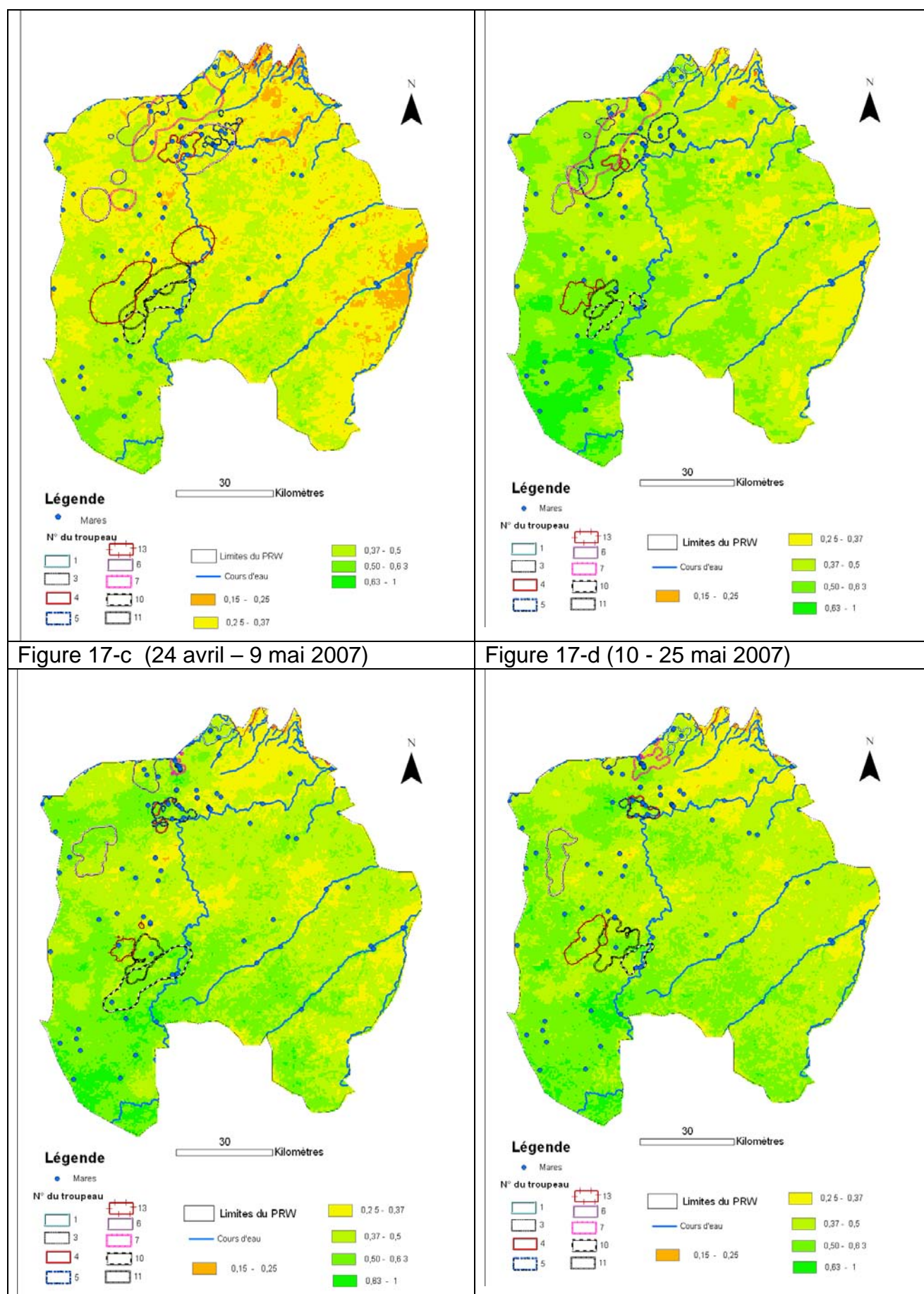


Figure 17-b (8 -23 avril 2007)





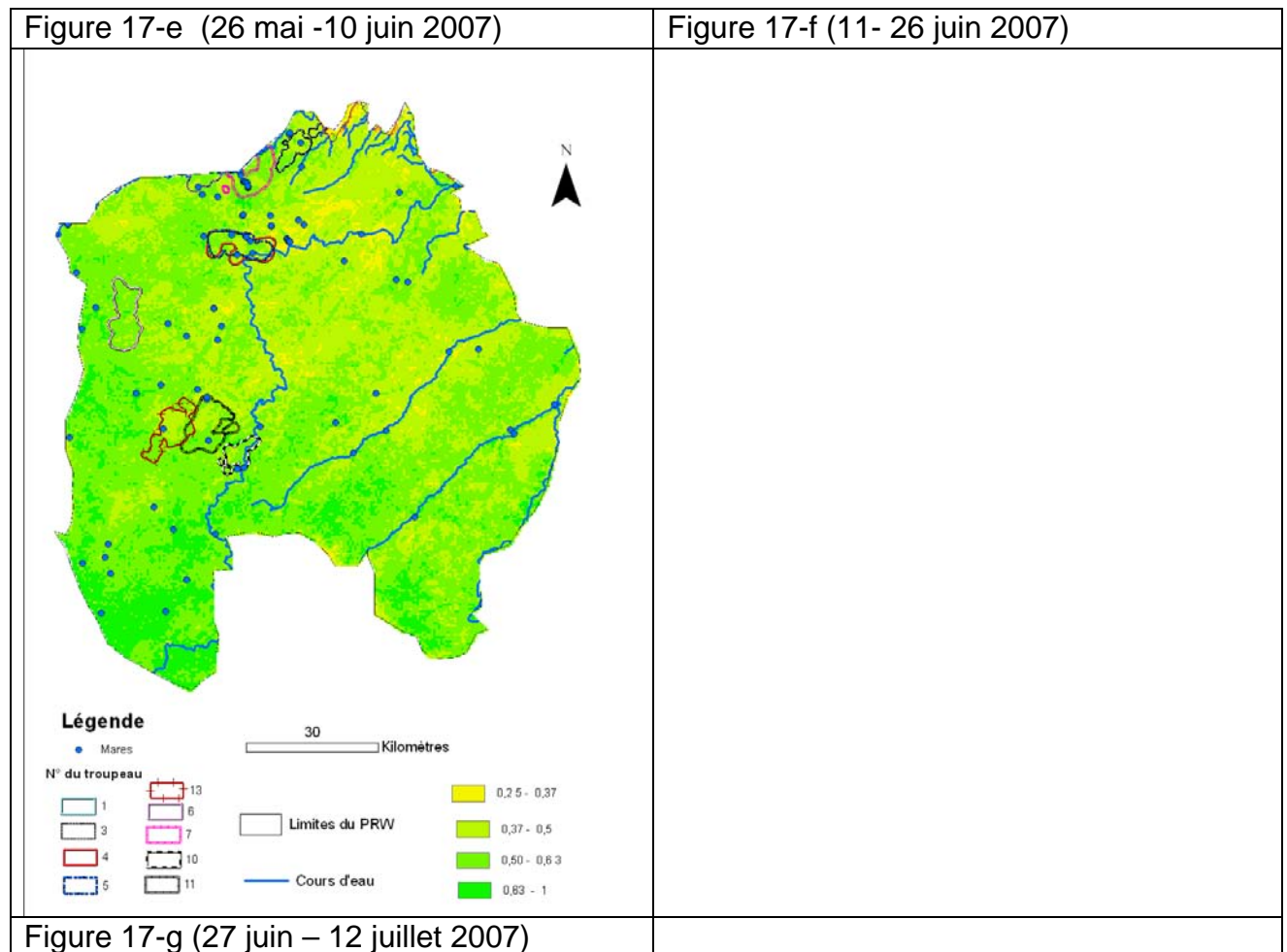



Figure 17 : a, b, c, d, e, f et g: Evolution du NDVI et dynamique spatio-temporelle des domaines vitaux des buffles au parc régional du W

### 3.2 Variation du NDVI dans les Domaines Vitaux

De manière à relever le caractère dynamique des DV, nous avons choisi de calculer le NDVI des DV « passé » et DV « en cours » :

- Le NDVI des DV « passé » correspond, pour une semaine donnée, au maximum du NDVI calculé sur le DV des 16 jours passés.
- Le NDVI des DV « en cours » correspond, pour une semaine donnée, au maximum du NDVI calculé sur le DV des 16 jours en cours.

Nous avons marqué d'une flèche (  ) les périodes de déplacement des buffles que nous avons pu observer dans le paragraphe précédent (figure 18).

Les résultats montrent que le NDVI présente une évolution très semblable quelque soit le groupe de buffles et quel que soit la période (figure 18). Le NDVI des DV « passé » est inférieurs au NDVI des DV « en cours ».

Les animaux déplacent leur DV sur des sites dont l'indice de végétation est presque toujours supérieur aux sites qu'ils ont quittés. Les déplacements des DV sont observés entre la P1 et la P5 (figure 18) qui correspondent à la fin de la saison sèche et le début des pluies sur le parc régional du W.

Ainsi, si les buffles arrivent dans des zones riches, ils adoptent un comportement sédentaire ; leur DV varie peu. Les buffles essayent à partir d'un noyau de présence d'exploiter les pâturages environnants entraînant un agrandissement ou une réduction de la taille de leurs DV (figure 18). Les DV sont sédentaires surtout entre la P5 et la P7. Pendant cette période, on remarque que le NDVI est fort, les buffles n'ont pas effectué de mouvements de grande amplitude pour trouver leur pâturage.

Pour conclure cette partie, les résultats nous ont permis de caractériser :

- La dynamique des DV des buffles : le déplacement ou l'élargissement des DV sont les stratégies des buffles pour sélectionner leurs sites de pâturages
- L'approvisionnement en fourrage : chaque groupe de buffles semble donc adopter une stratégie pour maximiser son pâturage : NDVI des DV « passé » est inférieurs au NDVI des DV « en cours ».

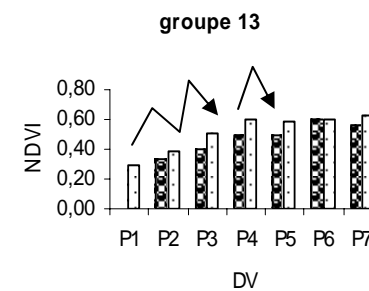
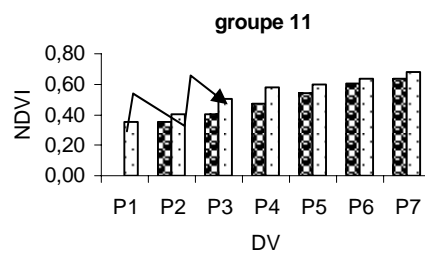
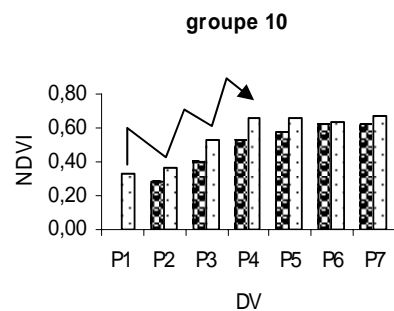
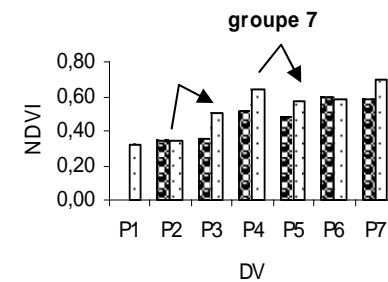
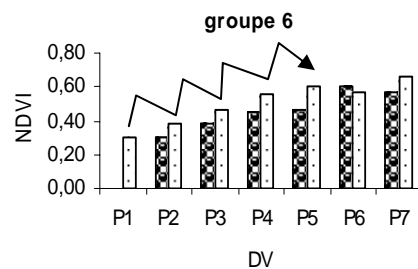
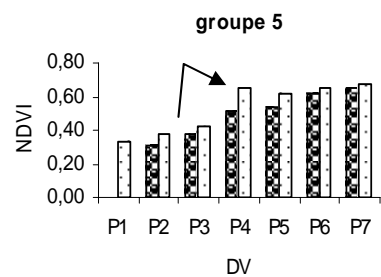
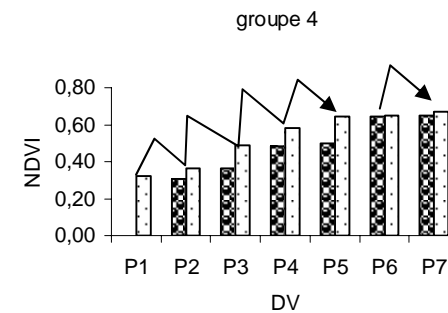
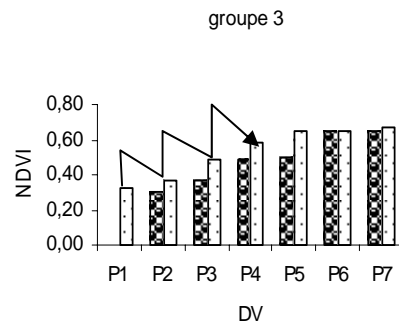
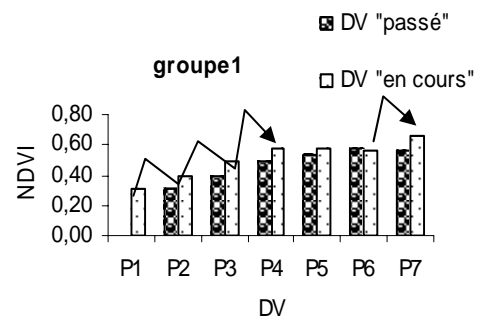


Figure 18: Evolution du NDVI dans les domaines vitaux pour tous les 16 jours



## **PARTIE 4. DISCUSSIONS DES RESULTATS**

## 1 Suivi des surfaces brûlées au Parc régional du W

### 1.1 Dynamique spatio-temporelle des feux

L'analyse spatio-temporelle des feux a permis d'estimer les périodes d'activités maximales de feux et le pourcentage de brûlis par type de feux au parc régional du W. La saison potentielle des feux pour l'année 2006-2007 du parc régional du W s'étend sur 5 mois de novembre à mars. En comparant la carte des surfaces brûlées (figure 10) et la carte de végétation du parc régional du W établie par Deivispelaere (2003) nous pouvons observer :

- Les premiers feux sont dits précoces et occupent les zones soudaniennes où la végétation est arbustive et parfois arborée avec une dominance des graminées vivaces sur les espèces annuelles.
- Le second brûlage (feux tardifs) concerne surtout les zones sahéliennes où la végétation est composée essentiellement d'herbacées annuelles.

On pourrait assimiler ce comportement des feux dans le temps à la distribution des types de végétation suivant le gradient pluviométrique (exemple, annexe 3) nord sud qui accroît du coup la charge de combustibles herbacés nécessaires au passage des feux. Cette distribution des feux au parc régional du W est similaire à celle observée par Valea en 2005b au parc national du Niokolo Koba (Sénégal ) où la forte occurrence des feux dans la partie sud est due à un climat de type soudanien et soudano guinéen.

### 1.2 - Feux et aménagement

Le brûlis des feux tardifs s'étale sur 3 mois et ne parcourt que 12% de la superficie du parc régional du W. Ce brûlage concerne en général les zones où la végétation est dominée par des espèces annuelles. La mise à feu tardive de cette strate herbacée répond à un souci d'aménagement des gestionnaires car tout brûlage précoce des espèces annuelles se traduit par une perte définitive de fourrage et crée un déficit alimentaire pour les animaux. En empêchant les feux tardifs, on évite à la végétation ligneuse composée surtout des arbres et des arbustes de disparaître (Lamarque, 2004).

Les feux précoces se déroulent sur deux mois et brûlent 73% du parc régional du W. En systématisant les feux précoces, les gestionnaires favorisent donc les arbres aux

dépend des herbes. Cette systématisation des feux précoces semble présenter un danger dans le temps, car elle empêche la production d'herbe, or s'il n'y a pas d'herbe, il y a plus de feu possible pour réduire le développement des ligneux. Donc la forêt s'installe et crée un écosystème différent de celui de la savane (Baumer, 1997 et Lamarque, 2004). Mais alors que faire de toute cette population d'antilopes bien adaptées aux espèces herbeuses et qui n'auraient aucune chance de se créer un chemin pour accéder aux ressources nécessaires à leur survie ? Ainsi beaucoup d'espèces animales n'auraient pas de chance de suivre sous un couvert totalement arbustif.

Les dimensions des surfaces parcourues par les feux précoces au parc régional du W montrent que les gestionnaires semblent se soucier uniquement de la production des repousses et de la prévention des feux « illégaux ». Selon Grégoire et Simonetti en 2007, la disponibilité en combustible semble être le facteur déterminant la distribution temporelle des feux au complexe WAP et non une stratégie de gestion des brûlis et d'aménagement de l'espace.

Que les gestionnaires ne perdent pas de vue que le feu perturbe bon nombre d'éléments de l'écosystème en accélérant, en supprimant ou en modifiant certains processus (Bow, 2004). En général, il apparaît des modifications floristiques et physiologiques liées au feu relatives surtout à la période de mise à feu, la fréquence du feu d'une part, du type de végétation, de la topographie du milieu et de la nature du sol d'autre part (Baumer, 1997). Le feu finit par installer un pyroclimax où seules les espèces adaptées au feu subsistent. Or, il existe une inter-action entre les végétaux et les mammifères qui les exploitent. La disparition des ligneux entraîne sans doute l'émigration des grands herbivores. Ainsi, il existe une corrélation entre la distribution spatiale des animaux et les végétaux, qui doit guider le brûlage au niveau des aires protégées. En exemple, on peut citer la gazelle et le bubale qui cherchent les rameaux des ligneux tandis que le cobe à croissant et le buffle fréquentent la zone de boisement (Rabeil, 2003).

### **1.3 Perspectives**

Au regard de ce qui précède, il est souhaité que les gestionnaires du parc régional du W aient un schéma de mise à feu qui respecte la distribution spatiale de la végétation et des animaux. Ce schéma devrait aussi être associé à des méthodes de suivi et d'analyse qui permet d'évaluer les impacts des feux sur les végétaux et

caractériser les épisodes de feu (la date, la surface brûlée et le type de formation végétale brûlée). La meilleure approche serait celle qui intègre la télédétection et les SIG. Il s'agirait ici de mettre en place au niveau du programme ECOPAS un outil SIG de type 'léger' permettant aux gestionnaires du parc de :

- Spatialiser les différentes données en provenance des gardes forestiers (observation sur les animaux, relevés pluviométriques, de relevés de transect, .etc) ;
- Intégrer les informations issues des traitements des images satellitaires (estimation des pluies, indices de végétation décadaires, surfaces brûlées) ;
- Spatialiser les sites d'intérêt particulier (habitats des espèces soumises à la prédation,.....) et infrastructures (campements et d'autres installations) en vue de les protéger contre les feux.

Ce SIG devrait être aussi alimenté par des informations de référence qui sont à collecter sur le terrain et croiser par des images satellitaires afin de:

- Améliorer la carte d'occupation du sol pour mieux planifier un schéma de mise à feu du parc régional du W qui devra prendre en compte les données écologiques pour une meilleure compréhension de la progression des feux,
- Cartographier les feux par saison,
- Faire des analyses statistiques des impacts des feux par type de couvert végétal,
- Répartir les surfaces brûlées par types de peuplements végétaux.

L'exploitation de ces données thématiques permettrait de mieux :

- Evaluer le plan de gestion des brûlis dans le Parc du W et de l'aménager en fonction des besoins,
- Faire les simulations de la dynamique spatiale des espèces végétales (ou de la production herbacée) de la succession végétale qui aident les gestionnaires à prendre des décisions appropriées par rapport à la surveillance écologique et à l'aménagement du parc régional du W

## **2 Influence des feux précoces sur les pâturages**

Le brûlage est suivi d'une remontée des valeurs du NDVI. On note aussi un maintien ou une stabilité des valeurs du NDVI des sites brûlés par rapport à ceux non brûlés de décembre à mars. Leur NDVI est ainsi compris entre 0,26 et 0,32. Ces valeurs indiquent une végétation moyenne. Donc le passage du feu semble favoriser

le maintien d'un certain niveau de repousse en zone sahélienne au moment où les activités végétatives devraient se dégrader. La repousse lente des végétaux après le feu a été observée en zone sahélienne au Mali par Krul et Breman en 1982. Ainsi, les valeurs linéaires du NDVI que nous avons trouvé surtout pendant la période sèche n'excluent pas la croissance des talles.

Notons aussi que sur les sites brûlés, il y a un *démarrage* précoce des repousses dès mars surtout avec le brûlage précoce. Alors qu'au Parc régional du W, les premières repousses des graminées pérennes tel que *Andropogon gayanus* s'observent en général fin avril, à la faveur de la remontée de l'hygrométrie ou de l'arrivée des premières pluies (Grégoire et *al.*, 2003 ; Rabeil, 2003 ; Lungren, 2003).

La présence des repousses pendant la saison sèche améliore sans doute la situation alimentaire des animaux qui est critique pendant cette période. Même si la figure n'indique pas la qualité fourragère des repousses, plusieurs études ont montré que les repousses constituent une nourriture de qualité pour les animaux (Baumer, 1997). En effet, selon Krul et Breman en 1982, il est difficile d'épuiser les éléments nutritifs des repousses quelque soit l'intensité d'exploitation du bétail.

En contribuant à l'amélioration de la disponibilité en fourrage, les repousses après le passage du feu pourraient aussi influencer la dynamique spatio-temporelle des animaux dont notamment les buffles. Ainsi, chaque animal semble donc fortement rechercher les zones ouvertes de son domaine vital où les pousses fortement appréciées apparaissent en grande quantité.

Compte tenu de la taille de notre échantillon et la durée de notre étude, ces résultats ne permettent de tirer une conclusion sur l'impact des feux précoces sur le comportement du NDVI. Toutefois, la tendance de ces résultats semble répondre aux attentes des gestionnaires du parc régional du W, le feu de brousse peut être une alternative à la gestion des soudures des herbivores des aires protégées. Dans le but de compléter ces résultats, il est souhaitable d'intégrer des données de terrain à cette étude relatives à la biomasse. En effet, ces données n'ont pas été collectées du fait de la durée et de la période de notre stage (juillet-décembre) qui ne cadre pas avec la campagne des feux (novembre-mars).

### 3 Distribution des buffles à l'échelle du parc et variation du NDVI

Les résultats de l'analyse, du suivi télémétrique et des comptages, ont montré que la sélection de DV buffles n'est pas aléatoire. Par ailleurs, les résultats des deux comptages (avril 2003 et mars 2007) font ressortir des similitudes avec la répartition des DV de mars 2007 estimés par télémétrie.

#### 3.1 NDVI et dynamique des DV

Il ressort que le couvert végétal est un des facteurs déterminant de la dynamique spatio-temporelle des buffles. Il existe ainsi une assez bonne adéquation entre les ressources végétales notamment le NDVI et la distribution des buffles au parc régional du W.

En effet, l'évolution du NDVI des domaines vitaux montre que les buffles tentent de choisir des domaines vitaux avec une stratégie de cible à renforcement c'est-à-dire en augmentant chaque fois leur gain en fourrage. Ceci est conforme aux observations de Storms et *al.* en 2004 chez les cervidés où le choix du domaine vital se fait essentiellement en fonction de la répartition spatiale des ressources fourragères et de protection. La variabilité des indices de végétation (IV) explique aussi l'évolution de l'aptitude pastorale des domaines vitaux. Certains résultats en Afrique de l'est au parc de Serengeti (en Tanzanie) ont montré que sur des populations de buffles, de gazelles et de gnous, la diminution de la ressource alimentaire des sites pâturés amenait ces populations à les quitter ([www.amb.tanzanie.fr/article11.html](http://www.amb.tanzanie.fr/article11.html)). Sur notre site, nous n'avons pas observé une baisse systématique du NDVI pour un même DV d'une semaine à l'autre. Les valeurs de NDVI souvent stagnent ou baissent mais parfois augmentent dans les sites pâturés (figure 18). Toutefois, on sent la charge animale sur ces sites. Ainsi, le déplacement du DV peut être lié à une diminution des ressources fourragères.

L'analyse spatiale montre que les buffles n'ont pas opéré une véritable migration à l'échelle du parc. La sélection du DV est donc influencée par la disponibilité des ressources fourragères et le type de milieu où se situent les buffles. La sélection très marquée des DV observée en avril-mai pourrait être due à une diminution de disponibilité des ressources ou à une confluence sur les lieux où la pluie est tombée

pour profiter de repousses. Les buffles ont ainsi des niches alimentaires qu'ils modèlent en fonction de la saisonnalité des ressources alimentaires. La savane arbustive voire herbeuse et la savane arborée claire autour des cours d'eau (mares et fleuves) semblent être les types de biotopes recherchés par les buffles.

### **3.2 DV et ressources en eau**

Ces résultats permettent de classer les DV en 2 catégories :

- Les DV de grande envergure: sont utilisées par les buffles pour exploiter les jeunes pousses lors des premières pluies. Ainsi, dès le retour des pluies, ils quittent les points d'eau permanents, en effet nous observons à cette période une forte augmentation de la taille ou un déplacement sur des grandes distances des DV. Cette dynamique des domaines vitaux est surtout observée entre avril et mai qui correspond à la période d'installation de la saison des pluies au parc régional du W.
- Les DV de petite envergure : concernent les saisons sèche et pluvieuse.

Durant la saison sèche, vu leur hydro dépendance (Rabeil, 2003), les buffles sont contraints de centrer leurs DV autour des points d'eau sur des aires relativement petites. En saison sèche, les températures diurnes sont si fortes, environs 44°C en moyenne dans la partie nigérienne en mai selon Rabeil en 2003, que les buffles ne peuvent pas aller loin pour recherche leur fourrage et revenir au point d'eau pour s'abreuver. Nous observons (figure 16 et 17-a) que la disponibilité en eau de surface est un critère déterminant pour le buffle en saison sèche pour l'exploitation des pâturages. En effet, le buffle devrait boire au moins une fois par 48 heures (Prins, 1996), voire au moins une fois par 24 heures (Estes, 1991 ; Sinclair, 1977). De plus, au contraire d'autres ongulés, il ne peut limiter son évaporation cutanée par une augmentation de sa température corporelle au-delà de 40°C de température corporelle (Sinclair, 1977). Au-delà, les buffles cessent de pâturer, et se mettent à l'ombre. L'accès régulier à l'eau conditionne donc fortement l'utilisation de l'espace par le buffle.

Enfin, nous observons (figure 17-e, f et g) durant la saison des pluies que les buffles se fixent sur des DV plus ou moins permanents de tailles relativement petites comparables à ceux de la saison sèche. Cette période correspond à l'installation de la saison des pluies et par conséquent, les ressources alimentaires sont abondantes

(forte de valeur du NDVI). Les buffles qui se trouvent dans ces zones riches de la réserve ne déplacent pas leur habitat. Ainsi, les déplacements observés des buffles sont surtout liés une insuffisance de la quantité alimentaire disponible du DV. Ce type de comportement a été observé par Pellerin et al. (en 2005) chez le chevreuil qui ne présentent de sélection d'habitat dans des zones riches.

Notre observation reste insuffisante pour tirer une conclusion sur le comportement spatial des buffles au parc régional du W. En effet, plusieurs éléments déterminants dans la sélection de l'habitat notamment les critères de sélection de l'habitat, le contraste spatial de la qualité des régimes alimentaires, de la période de mise bas, et les tactiques de mobilité saisonnière individuelles ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Cependant, l'étude a montré la possibilité de produire une carte de la probabilité de présence des animaux en fonction de la variation de la végétation. Avec l'utilisation de la télémétrie et les images MODIS /produits NDVI, il est possible de fournir des plans cartographiques faisant apparaître une discrimination spatiale du choix et de la fréquentation des DV privilégiés par les buffles. Cela serait primordiale pour la conservation et la gestion des animaux des aires protégées notamment le parc régional du W.



## **PARTIE 5. CONCLUSION**

## *Conclusion*

Dans le cadre de la gestion des ressources naturelles dans les aires protégées, les objectifs de ce travail ont été l'étude de l'influence des feux de brousse précoces sur les pâturages et celle des pâturages sur la dynamique des domaines vitaux (DV) des buffles au parc régional du W. Les DV des buffles issus des comptages sur le terrain, les surfaces brûlées et les indices de végétation issus de la télédétection (ici NDVI) ont été les paramètres utilisés. La méthodologie a consisté dans un 1<sup>er</sup> temps à faire la typologie des feux et étudier l'impact du feu sur les pâturages à travers l'analyse du comportement des NDVI, ensuite à étudier l'impact du NDVI sur la dynamique des DV des buffles. Outre la caractérisation des surfaces brûlées au parc W, le comportement du NDVI post-brûlis et la dynamique spatio-temporelle ont été analysés. Les objectifs spécifiques de l'étude ont été, nous l'espérons, atteints.

L'esprit de la méthodologie a consisté à appuyer des activités de terrain (gestion des feux dans le parc, comptage des buffles) par l'utilisation de produits issus de la télédétection facilement disponibles. En effet, les images et les produits MODIS 250m représentent un précieux outil dans l'étude des surfaces parcourues par les feux de végétation. Elles ont permis d'une part d'identifier et d'évaluer la superficie des terrains affectés par les feux et d'autre part de suivre l'évolution de la végétation dans les DV des buffles. Nous rappelons que nos travaux ont permis de calculer que durant la campagne de feux 2006-2007, 85% du parc régional du W a brûlé dont 73% par les feux précoces en 2 mois et 12% par les feux tardifs en trois mois. Ce type brûlis ne semble pas tenir d'un schéma d'aménagement (Grégoire et al, 2007). Il ressort de l'étude du suivi de la végétation sur les surfaces brûlées que le feu est un appui dans la gestion des soudures des aires protégées, les repousses qu'il génère, peuvent permettre de diminuer la période critique de soudure alimentaire de la grande faune. Le passage du feu est suivi d'une hausse du NDVI et a entraîné le démarrage précoce de la végétation, dès le mois de mars.

Ce travail a démontré que les troupeaux de buffles ajustent leur comportement de recherche en fonction des ressources végétales présentes dans les DV. Nous avons donc pu mettre en évidence une sélection de l'habitat en fonction de la disponibilité environnementale. La dynamique des DV est donc influencée par la disponibilité des ressources et le type de milieu où se situent les individus, et les troupeaux dont les domaines vitaux offrent des ressources en quantité et qualité similaires présente des

## *Conclusion*

sélections de l'habitat semblables. Enfin, la similitude de sélection entre les deux années a montré que la quantité de ressources alimentaires disponibles a une influence sur la sélection des habitats des buffles.

Enfin, nos résultats confirment l'importance à la fois du couvert végétal dans la sélection des DV par les buffles, et montre aussi que le brûlis précoce est une alternative à la gestion des soudures des aires protégées. De plus, ces résultats montrent soit l'absence d'un plan de gestion des brûlis soit une mise à feu incontrôlée de la végétation au parc régional du W.

Cependant, des limites d'ordre méthodologique, de fiabilité et de disponibilité données sont à reconnaître dans ce travail qui demande à être amélioré. Par rapport aux données le problème se situerait au niveau (1) des produits NDVI qui sont affectés par les effets atmosphériques, (2) des kernels qui n'existent actuellement que pour 9 groupes de buffles suivis pendant 4 mois seulement, et (3) de l'absence des données de terrain pour l'étude de la variation du couvert végétal post feu (non adéquation entre le stage et la saison des feux) et certaines données écologiques pour la caractérisation des DV.

Dans le but de compléter cette étude, nous proposerions d'explorer les aspects suivants :

L'utilisation d'autres types d'indice de végétation (SAVI, DMP ... ) qui permettraient éventuellement de corroborer nos résultats mais qui demandent peut-être des compétences plus spécifiques en télédétection.

Le changement d'échelle : nous avons abordé cette étude à l'échelle du parc, il serait intéressant d'étudier les autres déterminants du DV tels que les ressources en eau, la taille des troupeaux, les données écologiques, les espèces appréciées par les buffles à l'intérieur des DV. Ainsi, la description détaillée des zones préférentiellement utilisées par les buffles pourrait contribuer à une meilleure compréhension des relations entre les espèces animales et le milieu forestier, et ainsi aider dans la gestion sylvicole des parcs. Cette proposition pourrait rentrer dans le cadre d'une étude plus longue.

## *Conclusion*

Pour conclure, la gestion des ressources naturelles des aires protégées devrait mieux intégrer l'utilisation des données issues de la télédétection en appui aux relevés de terrain des chercheurs et personnels de ces parcs. Nous espérons avoir contribué aussi à cette démonstration.

## **PARTIE 6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**BAKARI D. et al, 1998.** Méthodologie pour l'élaboration d'un front de végétation dans le cadre du système d'analyse conjoncturelle. Projet AP3A/AGRHYMET et CESIA, 15 p.

**BAUMER M., 1997.** L'agroforesterie pour les productions animales. CTA et ICRAF, pp 115-215.

**BOTHMA J., 2002.** Some economics of game ranching. *In* B. Penzhorn, editor. Proceedings of a symposium on game ranch management 2002, South Africa. Wildlife Group of the South African Veterinary Association, Onderstepoort, South Africa, pp 23–40.

**BOY A. , 1958.** Les buffles du pays Gourma *In* revue Bois et Forêts des Tropiques, n° 58, avril-mars

**BRUN J., 2004.** Etude du potentiel des indices de végétation de l'imagerie MODIS pour l'observation de l'évolution intra- et inter-annuelle de la couverture du sol : Application à la région genevoise (zone urbaine et périurbaine). Certificat de spécialisation en géomatique - université de Genève, 37p.

**CHARLES T., 2002.** Etat des lieux quantitatif et spatialisé de la transhumance dans la zone d'influence du parc National du w du Niger – Bénin. Thèse En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome. Université d'Abomey-Calavi Bénin- Faculté des Sciences Agronomiques, 102p.

**DOLIDON H. et DREZEN L. D., 2005.** Les feux de brousse en Afrique intertropicale, un processus d'interface nature/société. Exemples comparatifs à partir de l'actuel et du passé, Séminaire de l'UMR6554, avril 2005, pp 15-17.

**DOUSSA S., 2004.** Impacts de la culture cotonnière sur la gestion des ressources naturelles du parc w: cas de l'enclave de kondio. Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou, Unité De Formation et de Recherche en Sciences Humaines (UFR / SH) et ECOPAS / Burkina Faso, 123 p.

**ESTES, R.D. ,1991.** The Behavior Guide to African Mammals. University of California Press.

**ECOPAS, 2006.** Dénombrement pedestre de la faune dans le parc régional du W - composante Niger. Rapport mai 2006, volet suivi écologique, Parc du W–Niger, p 25.

**ECOPAS, 2002a.** La description pluridisciplinaire du fleuve Niger, mission de recherche en février 2002, rapport définitif, 44p.

**ECOPAS, 2002b.** Rapport de mission d'appui à l'amélioration et la disponibilité du potentiel en eau du complexe écologique du Parc W du Niger et ses aires contiguës.

"Mission d'expertise", rapport définitif Avril 2002

**ECOPAS, 2003.** Mission d'appui à l'amélioration et la disponibilité du potentiel en eau du complexe écologique du Parc W et ses aires contiguës, rapport définitif de Mai 2003, 66p.

**EVA, H.D., GREGOIRE, J-M. ET MAYAUX, P., 2004.** Soutien à la gestion des feux dans les aires protégées d'Afrique – Contribution du Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 44 p.

**FAO, 2006.** Les feux dans l'interface agriculture-foresterie. Quatrième conférence régionale pour l'Afrique - Bamako (Mali), 30 janvier – 3 février, 18 p.

**FUNSTON P.J., SKINNER J.D., DOTT H.M. 1994.** Seasonal variation in movement patterns, home range and habitat selection of buffaloes in a semi-arid habitat. *Afr. J. Ecol.*: 32, pp100-114.

**Grégoire J.M. et Simonetti D., 2007.** Dynamique des brûlis dans le Parc Régional du W, le Parc National de La Boucle de la Pendjari et la Réserve d'Arly-Implications pour la gestion de ces aires protégées. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 49 p.

**GREGOIRE J.M., FOURNIER A., EVA H. & SAWADOGO I., 2003.** Caractérisation de la dynamique des feux et de l'évolution du couvert dans le Parc du W : Burkina Faso, Bénin et Niger. Mission d'expertise pour l'étude des feux de brousse et leur utilisation dans le cadre d'une gestion raisonnée des aires protégées du Complexe WAP - UE, 2003, 64 p.

**Hamadé K., 2004.** Expertise technique pour l'appui à la formulation de la stratégie et des actions d'intégration du pastoralisme et de la conservation de la biodiversité aux périphéries du Parc W du fleuve Niger. Rapport final, ECOPAS, 36 p.

**IEMV–CIRAD., 1990.** Fiches techniques d'élevage tropical, fiche n°3 : feux de

brousse. Ministère de la coopération et du développement, Coopération française, 20 p.

**KINGDON, J., 1982.** East African mammals: An atlas of evolution in Africa. Academic Press, London, 3C(Bovids):1-393.

**KAZIM S., 2003.** Analyse des formes d'utilisation de l'espace dans les terroirs agropastoraux de la zone périphérique du parc National du W Bénin : cas de la commune de Karimama. Thèse en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 102 p.

**Krul J.M. et Breman H., 1982.** L'influence du feu *In la productivité des pâturages sahéliens : une étude des sols, des végétaux et de l'exploitation de cette ressource naturelle*, F.W.T. PENNING DE VRIES ET M.A. DJITEYE, PUDOC, Wageningen, pp 346-351.

**KANE et al ,1993.** Vérification à l'aide de l'imagerie landsat mss de la cartographie d'un, effectuée avec NOAA-AVHRR *In Outils micro-informatiques et télédétection de l'évolution des milieux*, DUBOIS J.M.M.- BLASCO F., actes du Colloque de Toulouse du 13 au 16 novembre 1990, presses Université du Québec, pp 309-312

**LAMARQUE F., 2004.** Les grands mammifères du complexe WAP. ECOPAS, CIRAD et UE, pp 7-40.

**LOMPO O., 2005.** Dynamiques et enjeux de la gestion participative a la périphérie du parc régional W cas dans la zovic de kabougou / Burkina Faso. Mémoire de DEA, Université d'Abomey calavi/UAC, Faculté des lettres arts et sciences humaines /flash, 169 p.

**LUNGREN. C. G., 2003.** Gestion du feu, *In Schéma Général d'Aménagement.* Programme ECOPAS Régional / Parc W, 44P.

MacKinnon J., MacKinnon K., Child G., Thorsell J., 1986. Managing protected areas in the tropics. Gland, Switzerland, I.U.C.N., 259 p.

**MBOW C., 2004.** Rapport sur les feux de brousse au Sénégal pour la saison sèche de novembre 2003 à mars 2004. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) et Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomantique, 49 p.



**MOSTEFA B., AICHOUCHE B et SMARA Y., 2003.** Application du SIG et de la télédétection dans la gestion es feux de forêts en Algérie. 2<sup>e</sup> FIG Régional Conférence du 2-5 Décembre, Marrakech, 16p.

**Pellerin M. - Saïd S. - et Calenge C., 2005.** Réponse fonctionnelle dans la sélection de l'habitat par le chevreuil : analyse de la sélection individuelle. Rapport scientifique, ONCFS, 5 p.

**PEREZ J. et MULLER E., 1993.** Suivi de l'évolution de la végétation riveraine du Rio Guanare (Vénézuéla) à l'aide des données SPOT XS, Landsat MSS et de photos aériennes *In Outils micro-informatiques et télédétection de l'évolution des milieux*, DUBOIS J.M.M.- BLASCO F., actes du Colloque de Toulouse du 13 au 16 novembre 1990, presses Université du Québec, pp 405-417.

**PRINS H.H.T., 1996.** Ecology and behavior of the African buffalo. Social inequality and decision making. Chapman & Hall, London: Wildlife Ecology and Behaviour Series, n° 1. p. 161

**RABEIL T., 2003.** Distribution potentielle des grands mammifères dans le parc du W au Niger. Thèse de Doctorat, Université de paris VII/DENIS DIDEROT UFR GHSS, 463 p.

**SCHÖNEGG G. et PHILIPPE M., 2006.** Les conflits liés à la transhumance transfrontalière entre le Niger, le Burkina Faso et le Bénin - Service Allemand de Développement (DED). Impression DED, 79 p.

**SINCLAIR A.R.E., 1977.** The African Buffalo. A study of resource limitation of populations. University of Chicago Press, Chicago. P 61,P80

**STARK M.A. , 1986.** The numbers, seasonal distribution patterns, densities and biomass of the large herbivores, Benoue National Park, Cameroon. *Mammalia*: 50, pp 341-350.

**STORMS D., Saïd S., Hamann J.L. et Klein F., 2004.** Déterminants intra- et interspécifiques de la sélection de l'habitat par le cerf et le chevreuil en milieu forestier. Rapport scientifique, ONCFS, 4p.

**VALEA F., 2005a.** Guide méthodologique : élaboration d'une méthode de suivi et d'analyse spatio-temporelle des feux de brousse en Afrique de l'ouest : cas du

Sénégal et du Burkina Faso. Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomantique et Agence intergouvernementale de la francophonie, 93 p

**VALEA F., 2005b.** Elaboration d'une méthode de suivi et d'analyse spatiotemporelle des feux de brousse en Afrique de l'ouest : cas de l'est du Sénégal et de l'ouest du Burkina Faso. Rapport de Stage, Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomantique et Agence intergouvernementale de la francophonie, 68 p.

**ZOURI I., 2003.** Impacts des pratiques pastorales sur la végétation de la périphérie du parc du w. Mémoire de fin d'étude pour de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Développement Rural. Université polytechnique de Bobo-dioulasso (UPB) et ECOPAS / Burkina Faso, 88 p.

### **Sites internet et documents en ligne**

**Beaudin I., 2007.** Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de sécheresse en milieu méditerranéen. -Université Laval Maîtrise en sciences géomatiques, Maître ès sciences (M.Sc.), Collection Mémoires et thèses électroniques, 2007-01- <http://www.fes.ulaval.ca/>

**COLLINS E. K. - et JOACHIM E. E.** « Apport de trois méthodes de détection des surfaces brûlées par imagerie Landsat ETM+ : application au contact forêt- savane du Cameroun », *Cybergeo*, Environnement, Nature, Paysage, article 357, mis en ligne le 20 octobre 2006, modifié le 03 mai 2007.  
URL : <http://www.cybergeo.eu/index2711.html>. Consulté le 13 juin 2007.

**HOUNTONDI Y.C., OZER P. ET NICOLAS J.,** « Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection a basse résolution au Niger », *Cybergeo*, Environnement, Nature, Paysage, article 291, mis en ligne le 10 novembre 2004, modifié le 03 juillet 2007.  
URL : <http://www.cybergeo.eu/index2761.html>. Consulté le 20 août 2007.

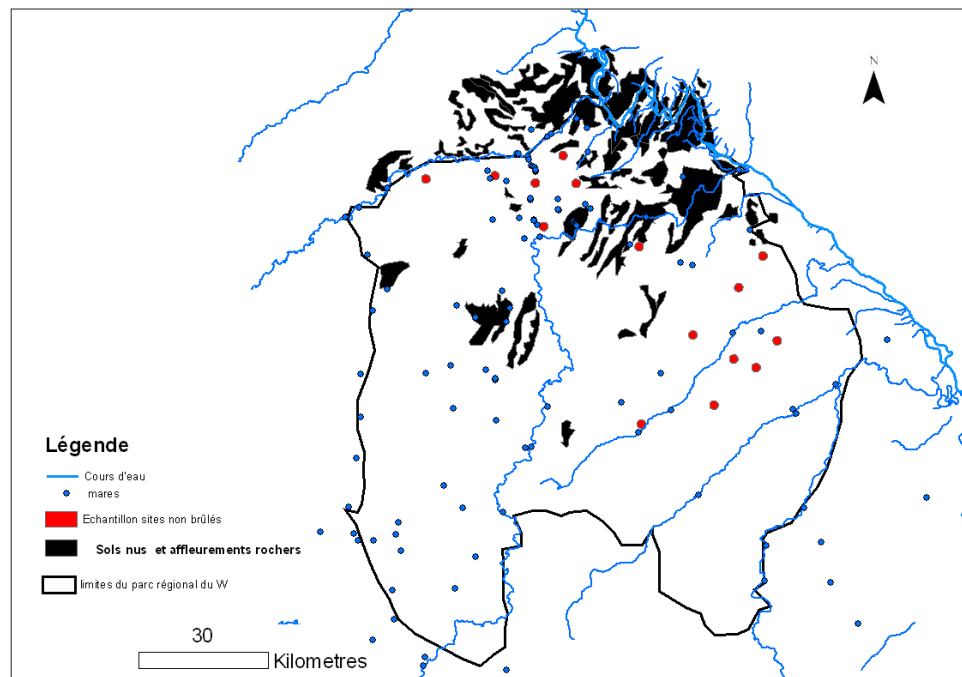
[http://www.ibimet.cnr.it/Case/ap3a/site\\_ap3a/main\\_method.htm](http://www.ibimet.cnr.it/Case/ap3a/site_ap3a/main_method.htm)  
[http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass\\_burn/globe\\_impact.html](http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass_burn/globe_impact.html)  
[WWW.amb.tanzanie.fr/article11.html](http://WWW.amb.tanzanie.fr/article11.html).  
<http://www.parc-w.org/>  
[www.multimap-parc.org/map.swf](http://www.multimap-parc.org/map.swf)

## **PARTIE 7. ANNEXES**

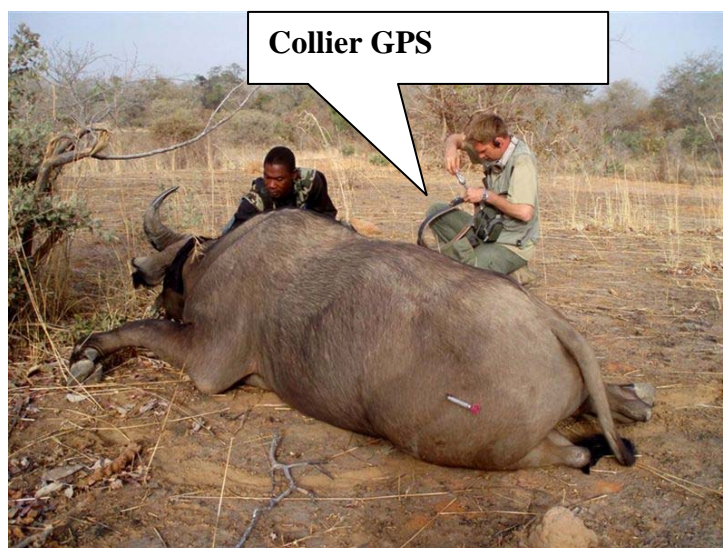
**Annexe 1: *Syncerus caffer brachyceros*, le buffle des savanes ouest-africaines  
(vu au parc régional du W)**



Annexe 2: Echantillonnage des sites non brûlés pendant la campagne de feux 2006-2007



Annexe 3: Pose d'un collier GPS sur un buffle au parc régional du W



Annexe 4: Pluviométrie mensuelle dans le Parc Régional W et périphérie en 2003

